



Contribution à l'évaluation économique des organisations productives : vers une modélisation de l'entreprise-compétences

Patrick Burlat

► To cite this version:

Patrick Burlat. Contribution à l'évaluation économique des organisations productives : vers une modélisation de l'entreprise-compétences. Modélisation et simulation. Université Lumière - Lyon II, 1996. Français. NNT : 1995LYO22012 . tel-00849949

HAL Id: tel-00849949

<https://theses.hal.science/tel-00849949>

Submitted on 1 Aug 2013

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

UNIVERSITE LYON 2

FACULTE DE SCIENCES ECONOMIQUES ET DE GESTION

**CONTRIBUTION A L'EVALUATION ECONOMIQUE
DES ORGANISATIONS PRODUCTIVES : VERS UNE
MODELISATION DE L'ENTREPRISE-COMPETENCES**

Thèse de Doctorat (N.R.) en Sciences Economiques

Economie de la Production

Présentée et soutenue publiquement par

Patrick BURLAT

le Mardi 9 janvier 1996

JURY

Yves BOUCHUT	Professeur à l'Université de Marne la Vallée, Rapporteur.
Vincent GIARD	Professeur à l'Université Paris I Panthéon-Sorbonne.
Michel HOLLARD	Professeur à l'Université Pierre Mendès-France - Grenoble 2, Rapporteur.
Jacques-Henri JACOT	Professeur à l'Université Lumière - Lyon 2, Directeur de thèse.
Albert MATHON	Professeur à l'Ecole des Mines de Saint-Etienne.
Hugues MOLET	Professeur à l'Ecole des Mines de Paris.

UNIVERSITE LYON 2

FACULTE DE SCIENCES ECONOMIQUES ET DE GESTION

**CONTRIBUTION A L'EVALUATION ECONOMIQUE
DES ORGANISATIONS PRODUCTIVES : VERS UNE
MODELISATION DE L'ENTREPRISE-COMPETENCES**

Thèse de Doctorat (N.R.) en Sciences Economiques

Economie de la Production

Présentée et soutenue publiquement par

Patrick BURLAT

le Mardi 9 janvier 1996

JURY

Yves BOUCHUT	Professeur à l'Université de Marne la Vallée, Rapporteur.
Vincent GIARD	Professeur à l'Université Paris I Panthéon-Sorbonne.
Michel HOLLARD	Professeur à l'Université Pierre Mendès-France - Grenoble 2, Rapporteur.
Jacques-Henri JACOT	Professeur à l'Université Lumière - Lyon 2, Directeur de thèse.
Albert MATHON	Professeur à l'Ecole des Mines de Saint-Etienne.
Hugues MOLET	Professeur à l'Ecole des Mines de Paris.

SCIDEM
Espace Fauriel

Je remercie Jacques Henri JACOT pour avoir encadré cette thèse, et Albert MATHON pour m'avoir accueilli à l'Ecole des Mines de Saint-Etienne. Je remercie également Yves BOUCHUT et Michel HOLLARD pour avoir accepté d'être rapporteurs, ainsi que Vincent GIARD et Hugues MOLET pour avoir accepté d'être membres du jury. Mes remerciements amicaux vont à Marie-Agnès GIRARD, Bertrand JULLIEN, Albert MATHON et Lucien VINCENT qui ont animé par leurs points de vue complémentaires nos discussions de recherche. Je remercie enfin les chercheurs de l'Ecole des Mines et ceux de l'équipe de recherche Economie des Changements Technologiques de l'Université Lyon 2, qui ont contribué par leurs actuels travaux à l'élaboration de cette thèse.

SCIDEM
Espace Fauriel

SOMMAIRE

Introduction générale	7
Chapitre 1 : Organisations productives et approche systémique	15
Chapitre 2 : Calcul économique et modèles de gestion.....	67
Chapitre 3 : Le nouveau contexte industriel.....	121
Chapitre 4 : De l'entreprise-facteurs à l'entreprise-compétences	173
Chapitre 5 : Une modélisation méta-systémique et multi-agents des organisations productives	231
Chapitre 6 : Validation industrielle et expérimentation.....	293
Conclusion générale	339
Annexe 1 : Détail des agents cognitifs et des centres d'activités du modèle de simulation	345
Annexe 2 : Contexte de simulation	359
Bibliographie.....	363
Liste des schémas.....	375
Liste des tableaux.....	379
Liste des graphiques.....	381
Index des principaux concepts.....	383
Table des matières.....	385



SCIDEM
space Fauriel

INTRODUCTION GENERALE

La théorie et le modèle

Les sciences économiques sont structurées autour de la connaissance des phénomènes concernant la production, la distribution et la consommation des richesses dans la société humaine. Comme pour toutes les sciences humaines, la progression dans l'observation et dans la description de ces phénomènes passe en particulier par un processus d'abstraction et de généralisation qui mène aux constructions intellectuelles méthodiques et organisées que sont les théories économiques. Une *théorie*, résultat d'un processus d'organisation en système d'éléments de connaissances acquis par l'observation, donne alors un cadre d'analyse qui oriente et favorise l'observation et la description.

De plus, comme pour toute démarche scientifique, les sciences économiques n'ont pas seulement pour objectif d'observer et de décrire la réalité, mais aussi de la comprendre et de l'expliquer. Ici aussi, l'élaboration et l'utilisation de théories permettent d'expliquer des phénomènes en énonçant des hypothèses sur la nature des relations entre les constituants d'un objet étudié et sur leurs comportements. La construction d'un cadre théorique répond donc également à l'objectif de compréhension et d'explication, mais la démarche de théorisation reste selon nous externe à l'objet. L'origine étymologique du mot *théorie*¹ nous renvoie d'ailleurs en permanence à une idée d'observation et de description de réalités perçues, et le processus de théorisation aboutit finalement toujours à l'observation - mais pas nécessairement à l'action - en ce sens qu'il sert surtout in fine à guider les descriptions futures en délimitant un cadre d'analyse. L'observateur reste en quelque sorte ici détaché de l'objet étudié.

¹ Du grec *theôrein* : "observer".

Pourtant, un processus d'abstraction et de généralisation peut également être utilisé pour guider l'action de façon plus opérationnelle. En particulier, dès qu'un idéal type théorisé - ou simplement identifié - semble apporter une réponse satisfaisante à une problématique donnée, il peut être érigé en *modèle*, et devient une référence² non seulement en tant que modèle d'explication mais aussi comme modèle d'action. Nous passons ici du concept de théorie à celui de modèle, en nous déplaçant progressivement depuis une position d'observateur interprétant et expliquant une situation perçue, vers une position d'acteur intervenant dans le système observé. J. L. Lemoigne définit d'ailleurs en des termes à connotation très active le processus de modélisation comme une "élaboration et construction intentionnelle, par composition de symboles, de modèles susceptibles de rendre intelligible un phénomène perçu complexe, et d'amplifier le raisonnement de l'acteur projetant une intention délibérée au sein du phénomène"³.

Cette vision n'est cependant pas réservée aux seuls spécialistes de la systémique. Les économistes également, et notamment M. Hollard, introduisent le concept de modèle d'entreprises pour "caractériser une représentation de l'entreprise permettant de justifier une certaine forme d'organisation, et (...) fournir aux différents niveaux de l'organisation des repères suffisants pour traduire l'objectif général d'efficacité de l'entreprise en terme d'objectifs locaux et d'actions concrètes à réaliser"⁴. L'élaboration d'un modèle nous renvoie donc ici à un double objectif : il permet d'abord de justifier a posteriori un mode d'organisation défini par une structure et par un ensemble de règles de fonctionnement ; le modèle sert alors d'outil à un observateur extérieur pour comprendre, pour décrire et pour expliquer le comportement de l'entreprise dans son environnement. Il permet ensuite d'orienter l'action au sein même de l'objet modélisé ; le modèle sert alors d'outil aux membres de l'organisation, en ce sens qu'il permet de relayer les objectifs globaux et collectifs de l'entreprise de façon à guider la décision et l'action à un niveau local et individuel.

Modèle structuré et modèle structurant

Cet objectif interne orienté vers l'action est selon nous essentiel. D'une part, parce que les acteurs dans l'entreprise prennent des orientations et agissent non pas en fonction de la réalité objective, trop complexe et contradictoire pour être connue avec certitude, mais à

² Selon l'origine étymologique du mot modèle, du latin *modus* : "manière, mesure".

³ J. L. LEMOIGNE : *La modélisation des systèmes complexes*, Dunod, 1990, p. 5.

⁴ M. HOLLARD (dir.) : *Génie industriel : les enjeux économiques*, PUG, 1994, p. 22.

partir des représentations individuelles et collectives qu'ils s'en font⁵. D'autre part, parce que tous les acteurs de l'entreprise ne sont pas en contact avec les réalités du marché, de sorte qu'un modèle de valorisation économique est nécessaire pour orienter l'activité de production par insertion dans l'organisation industrielle de logiques de valorisation qui ne sont pas données directement par les processus de transaction⁶. Un modèle de représentation d'entreprise possède pour ces deux raisons un rôle fondamental de "support à partir duquel se jouent et vers lequel convergent les comportements de gestion des acteurs de l'organisation"⁷.

Mais en construisant - ou en sélectionnant - un modèle structuré, l'observateur-acteur construit également le cadre dans lequel il devra fonctionner. En effet, un modèle de production est non seulement ce que les firmes tentent de construire pour saisir les opportunités et les contraintes que leur offre la réalité, mais aussi la réalité effectivement construite par la mise en oeuvre de ce modèle : "il y a au fond une sorte d'aller-et-retour entre réalité construite et modèle de production "constructeur". Mais cet aller-et-retour est ensuite générateur de tensions et de contradictions, dans la mesure où les choix pratiques, une fois faits, s'inscrivent dans la réalité (y compris celle de l'organisation de la firme, de ses outillages, et des compétences de son personnel) et la marquent d'irréversibilités et de rigidités plus ou moins durables"⁸. C'est dire l'enjeu du choix d'un modèle d'organisation sur la performance présente, mais aussi future d'une firme, sur sa capacité à évoluer, à s'adapter à son environnement et à se maintenir dans des conditions satisfaisantes de rentabilité.

L'économiste, le manager et l'ingénieur

La dualité que nous percevons entre un modèle-explication destiné à interpréter les comportements observés et un modèle-guide destiné à orienter les comportements des acteurs se retrouve assez naturellement dans chacune des deux approches traditionnelles de l'entreprise qui renvoient d'un côté aux sciences de l'économie et de l'autre aux sciences de gestion, l'économiste observant le fonctionnement de la firme et construisant un modèle explicatif pour la décrire et l'expliquer tandis que le gestionnaire propose un modèle

⁵ Commissariat Général du Plan : *La performance globale : outils et évaluation*, Rapport du groupe de prospective présidé par J. BARRAUX, La documentation française, octobre 1994, p. 3.

⁶ P. BESSON : "Le contrôle de gestion, la valeur et le contrat : une fonction industrielle en mutation", in *Gestion Industrielle et Mesure Economique - Ecosip*, Economica, 1990, p. 199.

⁷ *Idem*.

⁸ R. SALAIS et M. STORPER : *Les mondes de production - Enquête sur l'identité économique de la France*, Edition de l'Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales, 1993, p. 60.

opérationnel pour structurer au sein de l'organisation la prise de décision et y orienter les comportements.

Pourtant, à la suite de H. Simon qui critique la frontière artificiellement établie entre une logique de marché apte à décrire l'extérieur de l'entreprise et une logique d'administration destinée à en structurer l'intérieur, P. Lorino intercède pour un nécessaire rapprochement entre l'économiste et le gestionnaire : "A l'heure où les grandes mutations économiques de la société tournent autour des phénomènes d'organisation, le partage strict de tâche établi entre micro-économie et sciences de gestion : marché-organisation, extérieur-intérieur, devient obsolète. (...) Marché et organisation se mêlent, de manière de plus en plus indissociable"⁹. De ce fait, l'interprétation économique de la firme passe par l'étude de son organisation et de ses processus internes de prise de décisions. L'évaluation économique dépasse ainsi la seule observation de résultat, pour acquérir une dimension active selon un processus dynamique proposé par J. H. Jacot : "dans une approche d'*Industrial Engineering*, l'évaluation se définit comme une activité finalisée, susceptible d'une méthodologie de type résolution de problème (*problems solving*), au même titre par exemple que la conception, la recherche ou l'apprentissage"¹⁰.

Or ce déplacement vers l'action et vers la conception nous renvoie à une approche artificialiste des organisations qui met aussi en scène l'ingénieur. Comme l'indique H. Simon, "les objets artificiels conçus pour avoir a priori des propriétés désirées constituent l'objectif central de l'activité et de l'expertise en ingénierie. L'ingénieur est concerné par la façon dont les objets devraient être, afin d'atteindre leurs buts et de fonctionner"¹¹. Ainsi, la mise en oeuvre par les firmes de modèles de production, ainsi que l'aller-et-retour permanent entre le modèle à construire et la réalité constructrice correspondent également à une démarche d'ingénierie, et renvoient à ce titre au corpus des sciences de l'artificiel. L'identification et la mise en application au sein d'une firme d'un idéal type n'est alors concevable que dans le cadre d'une synthèse entre l'expertise de l'économiste, celle du gestionnaire et celle de l'ingénieur. D'ailleurs H. Simon considère bien les artefacts comme des "points de rencontre entre un environnement interne, la substance et l'organisation de l'artefact lui-même, et un environnement externe, les alentours dans lesquels il est mis en oeuvre"¹².

⁹ P. LORINO : *L'économiste et le manager*, Editions La Découverte, 1991, p. 29 et p. 163.

¹⁰ J. H. JACOT : "A propos de l'évaluation économique des systèmes intégrés de production", in *Gestion Industrielle et Mesure Economique - Ecosip*, Economica, 1990, p. 65.

¹¹ H. SIMON : *La science des systèmes, science de l'artificiel*, Epi Editeurs, 1974, p. 19.

¹² *Idem*, p. 21.

Quels modèles pour l'évaluation économique des organisations productives ?

Or les alentours des organisations productives sont en constantes évolutions. Après avoir connu le contexte de production de masse des Trente Glorieuses, les entreprises industrielles se sont trouvées immergées, à l'issue de la rupture des années 70, dans un contexte d'économie de variété qui a profondément modifié leur rapport au marché, tandis qu'émergeaient dans le même temps de nouveaux concepts liés au développement des techniques d'automatisation et d'informatisation. Ces technologies ont transformé la répartition des fonctions entre l'homme et le moyen de travail, et ont généré des problématiques liées à la fois à la mise en oeuvre de nouvelles techniques, et au nouvelles mises en oeuvre de techniques¹³. Toutes ces évolutions ont déstabilisé les habitudes de travail, les normes de fonctionnement communément admises, et finalement les modèles utilisés jusqu'alors comme références d'observation et comme références d'action par le calcul économique. Et derrière la remise en question de ces références anciennes se pose la question de la pertinence des modèles économiques issus de la théorie néoclassique, fondés sur une approche essentiellement statique comparative, et peu concernés par les problèmes organisationnels de mise en oeuvre des facteurs de production.

Pour dépasser effectivement la seule mesure de résultat et se définir à présent selon un processus dynamique et actif comme une activité finalisée, mais également pour intégrer pleinement les déterminants organisationnels de la performance, l'évaluation économique requiert de nouveaux modèles, dans le cadre de nouvelles théories économiques. En définissant les contours d'une théorie non standard, caractérisée par une rationalité procédurale en contexte d'information incomplète et par la reconnaissance de l'organisation comme principe de coordination alternatif à celui du marché, O. Favereau nous donne un cadre théorique pour développer les modalités d'un nouveau calcul économique organisationnel¹⁴. Mais ce calcul économique a également besoin de nouveaux modèles, adaptés aux nouvelles formes d'organisation, et destinés à la fois à refléter leurs comportements et à structurer leur fonctionnement. C'est pourquoi nous souhaitons proposer, dans un cadre de travail situé au carrefour des sciences économiques, des sciences de gestion et des sciences de l'ingénieur, de nouveaux modèles pour une évaluation économique - au sens d'un processus dynamique et actif - des organisations productives.

¹³ Y. BOUCHUT, J. H. JACOT et S. LATCHINIAN (dir.) : *Nouvelles technologies et enjeux sociaux*, PUL, 1986, p. 21.

¹⁴ O. FAVEREAU : "Vers un calcul économique organisationnel", in *Revue d'économie politique*, mars-avril 1989.

Démarche proposée

Nous développerons cette modélisation finalisée vers l'évaluation économique en six chapitres. Dans le premier chapitre, nous définirons le domaine et les frontières de notre étude, et nous situerons notre démarche dans le cadre d'une approche systémique apte à bien représenter la complexité des organisations. Nous présenterons les liens existant entre l'approche systémique et l'économie de la production, et nous montrerons l'importance de la phase de construction du modèle dans un processus de raisonnement et d'acquisition de connaissances. Nous emprunterons ensuite le langage cybernétique de l'approche systémique pour préciser les modèles de régulation et de contrôle classiquement utilisés pour piloter les organisations.

Dans un second chapitre nous présenterons selon un point de vue d'économiste les modèles de représentation issus du courant néoclassique. En effet, et comme l'indique M. Hollard, "la théorie économique, et particulièrement celle qui est issue du courant néoclassique, apparaît aujourd'hui comme un ensemble foisonnant de propositions fondées sur des hypothèses clairement explicitées, dont beaucoup de résultats ont un impact réel sur la compréhension des phénomènes industriels et sur les décisions à prendre"¹⁵. Nous utiliserons donc les modèles issus de la théorie économique néoclassique comme des outils de représentation du comportement des entreprises industrielles. Nous préciserons ensuite selon un point de vue de gestionnaire les modèles mis au point par les théoriciens du contrôle de gestion, et nous montrerons comment ces modèles structurent les organisations traditionnelles et permettent le pilotage d'un système à travers un contrôle hiérarchique fort et une déclinaison permanente d'objectifs normatifs. Nous verrons en quoi ces outils de gestion sont proches des modèles cybernétiques et de la théorie néoclassique, et pourquoi ils sont particulièrement bien adaptés à un contexte stable.

Nous décrirons alors, dans le troisième chapitre, la transition observée depuis une économie d'échelle vers une économie de variété, et nous montrerons dans quelle mesure les rapports de la firme avec son environnement économique, scientifique et technique sont à présent caractérisés par une incertitude et une complexité accrues. Nous exposerons les limites d'une approche cybernétique de planification et de contrôle, d'un dosage néoclassique des différents facteurs de production, et d'une analyse normative des coûts dans le cadre d'un environnement instable, et nous montrerons comment la réponse des entreprises s'est déplacée sur le terrain organisationnel à l'aide de démarches d'intégration et de flexibilité. Nous situerons alors la position du calcul économique par rapport aux nouvelles attentes des entreprises, et nous établirons le cadre d'un calcul économique plus

¹⁵ M. HOLLARD (dir.) : *Génie industriel : les enjeux économiques*, op. cit., p. 20.

organisationnel, qui reconsidère la fonction de production comme un concept plus large englobant également les procédures de prises de décisions ainsi que la façon dont ces procédures sont construites et se transforment à l'intérieur de la firme.

La modélisation des organisations intégrées et flexibles, comme support à une nouvelle forme plus dynamique d'évaluation économique, renvoie alors à de nouveaux concepts que nous présenterons dans le quatrième chapitre. Nous détaillerons la transition de la démarche d'évaluation économique qui passe d'une simple mesure externe et statique de résultats à un processus interne collectif et dynamique supporté par des modèles multi-critères, multi-acteurs et multi-niveaux. En particulier, nous envisagerons sous un angle nouveau le statut de l'information dans le cadre de systèmes d'information et de gestion qui évoluent depuis un processus traditionnel de manipulation de symboles caractérisé par l'allonomie et respectant des suites données d'instructions, vers des processus cognitifs nouveaux caractérisés par l'autonomie. Nous détaillerons en particulier comment l'apprentissage passe d'un cadre technique et individuel à une dimension organisationnelle et collective, et nous montrerons que le modèle hiérarchique classique qui décompose l'entreprise de façon pyramidale pour permettre la transmission de suites d'instructions depuis le niveau stratégique jusqu'au niveau opérationnel ne reflète plus la réalité des processus dynamiques et collectifs d'évaluation et ne favorise pas l'émergence des activités cognitives. Nous devons alors proposer un modèle alternatif d'interprétation des structures organisationnelles, et nous ferons pour cela référence à des travaux menés en biologie pour comprendre le fonctionnement d'entités autonomes au sein de systèmes complexes, ce qui nous mènera à une interprétation méta-systémique du comportement des organisations.

L'observation de ces transitions depuis une vision monolithique et centralisée de l'information et de la décision vers une vision répartie et distribuée, et depuis une vision cybernétique vers une vision plus cognitiviste, que nous caractériserons par le passage d'une *entreprise-facteurs* à une *entreprise-compétences*, nous mènera à proposer dans le cinquième chapitre un langage nouveau de modélisation des organisations productives. En effet, l'interprétation des démarches d'intégration et de flexibilité comme la mise en oeuvre de conditions favorisant les processus d'adaptation collectifs au sein des organisations productives aura fait apparaître l'autonomie comme condition essentielle de la réactivité d'un système de production. Mais nous aurons également vu que l'autonomie indispensable aux acteurs pour développer des processus d'adaptation localement efficaces devait s'exprimer dans un cadre déterminé de façon à assurer une bonne coordination de l'ensemble. Or dans le contexte multi-critère et multi-acteur qui caractérise les systèmes de production, ce cadre qui canalise l'autonomie ne peut être qu'un modèle partagé de performance collective, qui donne une vision globale du système et qui permette d'orienter correctement le

comportement de chacun des acteurs, cadre que ne donnent actuellement ni la fonction de production néoclassique du côté économique, ni les modèles traditionnels centrés sur les coûts du côté gestion. Le langage de représentation que nous proposerons essaiera de répondre à ces attentes. Il permettra en particulier de modéliser les phénomènes cognitifs en s'appuyant sur les concepts de systèmes multi-agents issus des recherches en intelligence artificielle distribuée.

Le sixième et dernier chapitre nous permettra de valider le langage de représentation que nous aurons construit. Nous vérifierons qu'il est adapté pour représenter le cas réel observé d'une entreprise industrielle engagée dans un projet productique visant à reconfigurer ses processus principaux selon une démarche d'intégration et de flexibilité. Pour cela, nous décrirons cette entreprise par une cartographie de ses processus fondée sur notre formalisme de représentation. Nous prolongerons ensuite cette phase de validation par la présentation d'une maquette de simulation qui reproduira quelques phénomènes observés dans l'entreprise que nous aurons décrite. L'exploitation de cette maquette permettra en particulier de confirmer l'incidence des processus cognitifs sur les niveaux de performance des organisations productives. Elle montrera dans quelle mesure l'intégration de la dimension cognitive dans les modèles de représentation peut améliorer notre interprétation du comportement des organisations et comment l'évaluation économique comme processus actif et dynamique peut s'appuyer sur des outils de simulation pour favoriser les processus d'émergence et de créativité et pour orienter l'action.

CHAPITRE 1 : ORGANISATIONS PRODUCTIVES ET APPROCHE SYSTEMIQUE

Dans ce premier chapitre, nous allons présenter les concepts principaux que nous utiliserons au cours de notre démarche. Nous préciserons dans la première section le domaine et les frontières de l'étude, et nous y définirons la notion d'*organisation productive*, objet central de notre travail. Nous aborderons ensuite les descriptions traditionnelles issues de l'approche micro-économique néoclassique et de l'approche organisationnelle ancienne, et nous montrerons qu'elles procèdent d'une démarche parfois trop analytique pour bien représenter la complexité des organisations productives. Nous définirons alors plus précisément la notion de complexité et le concept de système, et nous montrerons quelles sont les contributions de l'approche systémique pour décrire et expliquer le comportement des organisations.

Nous étudierons dans une seconde section les liens entre l'approche systémique et l'économie. Nous décrirons pour cela les origines de la science des systèmes et ses principales applications dans le domaine de l'économie, et nous détaillerons les concepts de base actuels de l'approche systémique. Nous définirons ensuite la systémique comme science de conception et d'action autorisant une démarche de type *conception de système* différente de l'approche analytique traditionnelle. Au delà d'une trop simple opposition entre l'analytique et le systémique, nous nous attacherons à préciser les complémentarités de ces deux démarches que nous utiliserons alternativement dans notre étude.

Dans une troisième section, nous présenterons les modèles mécaniste et biologiste ainsi que le modèle des systèmes hiérarchisés, qui font appel à la cybernétique et à la théorie de la commande, et qui ont été les plus fréquemment utilisés jusqu'à présent pour modéliser le fonctionnement des organisations productives. Nous préciserons notamment les concepts de régulation et de contrôle qui sont à la base de ces paradigmes. Nous montrerons en particulier pourquoi la structure organisationnelle interne conditionne fortement le fonctionnement et la performance d'une entreprise, et nous présenterons les modèles de régulation classiquement utilisés pour piloter les organisations. Nous exposerons ensuite les

modèles de représentation des structures internes, fondés sur la hiérarchie et sur la prise de décision, qui décomposent une organisation productive en sous-systèmes, mais qui restent liés à une vision monolithique et centralisée de l'information, inhérente à la branche cybernétique de l'approche systémique.

SECTION I : ORGANISATIONS PRODUCTIVES

Pour déterminer le domaine de notre étude, nous partirons de la notion d'unité de production comme simple processus physique de transformation de biens ou de services, puis nous intégrerons en premier lieu les fonctions périphériques de ce flux physique, et en second lieu la dimension humain et les comportements individuels. Nous monterons alors pourquoi les descriptions analytiques s'avèrent insuffisantes face à la complexité et face à la nature intrinsèquement systémique des organisations productives.

1. Définitions et approches traditionnelles

1.1 Définitions

Une unité de production peut être définie dans une première approche comme un "processus de transformation régi par des hommes, ou à la réalisation duquel des hommes ont intérêt"¹. Le concept de transformation est ici pris dans son sens le plus large, impliquant que "certaines choses (marchandises ou services) s'intègrent dans le processus, au cours duquel elles perdent leur identité et où s'abolit leur forme antérieure, tandis que certaines autres choses (marchandises ou services) naissent du processus. Les premières se nomment facteurs de production, et les secondes, produits"².

Cette approche technique très générale de la production inclut des processus de transformations qui ne modifient pas les propriétés intrinsèques du produit comme le transport, le tri ou la conservation dans le temps. Pour centrer davantage notre approche sur l'industrie manufacturière, et pour avancer dans l'analyse de l'unité de production, nous pouvons utiliser la définition que propose V. Giard : "La production est une transformation de ressources appartenant à un système productif et conduisant à la création de biens et de services. Les ressources mobilisées à cette fin peuvent être de quatre types : des équipements (bâtiments, machines, ...), des hommes (opérateurs intervenant directement dans le processus de transformation ou contribuant d'une manière ou d'une autre à son bon déroulement), des matières (matières premières, composants, ...) et des informations

¹ R. FRISCH : *Lois techniques et économiques de la production*, Dunod, 1963, p. 3.

² *Idem.*

techniques ou procédurales (gammes, nomenclatures, consignes, procédures, ...) ou relatives à l'état ou à l'utilisation du système productif ..."³.

Cette analyse précise notre première définition et l'étend en élargissant la notion d'unité de production vers le concept de *système productif*. Ce système productif mobilise un certain nombre de ressources (équipements, hommes, matières, informations) qu'il convient également de prendre en compte dans notre approche. D'une façon plus générale se pose ainsi le problème du niveau d'observation, et donc des frontières du champ d'étude. En effet, il est concevable que la définition comprenne aussi les fonctions périphériques de la fabrication (conception, gestion, marketing, ...) qui peuvent être considérées comme des parties intégrantes de la production⁴. Elle peut encore être étendue au niveau de l'usine, services administratifs compris. On peut enfin "observer l'entreprise en tant qu'entité juridique identifiée par la propriété du capital correspondant, en tant que composante d'ensembles industriels plus vastes (secteurs), et en tant qu'organisation humaine"⁵.

La mobilisation nécessaire de ressources au sens de V. Giard, puis la prise en compte des fonctions périphériques fortement impliquées décrites par M. Gibert nous amènent donc à considérer un domaine plus étendu que la seule unité de production. Le concept d'organisation humaine y sera forcément présent.

Cette dimension a été étudiée par les théoriciens des comportements ou behavioristes comme H. Simon, R. Cyert ou J. March qui considèrent l'entreprise comme une coalition d'individus ou de groupes qui développent chacun leurs propres aspirations⁶. Nous ferons références à leurs travaux pour appréhender le fonctionnement interne des unités de production.

A titre d'exemple, l'analyse des organisations humaines par J. March et H. Simon⁷ a permis de discerner trois grandes catégories de comportements :

³ V. GIARD : *Gestion de la production*, Economica, 1988, p. 1.

⁴ Cf. M. GIBERT : *L'intégration des systèmes de production*, PUL, 1989, p. 23.

⁵ *Idem*.

⁶ G. KOENIG : *Les théories économiques de la firme*, Economica, 1993, p. 45.

⁷ J. MARCH et H. SIMON : *Les organisations*, Dunod, 1974, p. 6.

- Les membres de l'organisation sont des instruments passifs capables d'assumer un travail et de recevoir des directives, mais qui ne sont pas susceptibles de faire preuve d'initiative ou d'exercer une influence importante.
- Les personnes viennent dans les organisations avec leurs propres attitudes, leur propre système de valeur, leurs propres objectifs. Elles doivent donc être motivées ou stimulées pour adopter un comportement de participation au sein de l'organisation, sachant que les objectifs des personnes et ceux des organisations ne sont pas exactement parallèles.
- Les membres d'une organisation ont pour tâche de prendre des décisions et de résoudre des problèmes. La perception de ces problèmes et le processus de pensée expliquent alors le comportement.

Ces trois catégories ne sont pas contradictoires pour J. March et H. Simon, et une analyse de comportements doit donc comporter les trois aspects "agent d'exécution", "motivations et attitudes" et "rationalité".

Il est certain que ces trois facettes des comportements humains sont fondamentalement présentes au sein des activités de production. Aussi, plutôt que d'employer le terme trop restrictif d'*unités de production*, ou encore le terme de *système productif* à connotation trop systémique pour l'instant mais que nous développerons par la suite, nous préférons utiliser le concept d'*organisation productive* qui reflète bien la prégnance forte de la dimension organisationnelle en production.

Dans notre étude, une organisation productive comporte donc un processus de transformation que nous centrons sur l'activité manufacturière, des ressources mobilisées et une organisation qui sera le siège de comportements humains. Ces comportements humains incluent des phénomènes d'exécution simple, de motivation, et de prise de décision fondées sur des rationalités.

Nous allons maintenant identifier quelles étaient jusqu'à présent les outils d'analyse traditionnellement utilisés pour décrire les organisations productives.

1.2 Approches traditionnelles

Approche micro-économique

L'approche micro-économique consiste à étudier l'organisation productive, ou l'entreprise, comme un agent intervenant sur des marchés et entretenant des échanges avec son environnement. L'analyse des conditions de concurrence, ainsi que les stratégies qui en résultent sont à la base des théories économiques de l'entreprise. L'analyse néoclassique traditionnelle de l'entreprise en situation de concurrence, développée notamment par L. Walras⁸, considère que l'entrepreneur ne peut pas agir sur son environnement extérieur et que en particulier, les prix de vente lui sont fournis par le marché. Cette analyse est centrée sur le processus d'échange et sur le rôle régulateur des prix en contexte de concurrence. L'individu, acteur de l'ensemble, est rationnel et libre. Il recherche la maximisation de l'utilité globale des biens dont il dispose. L'entreprise combine ainsi les facteurs de production pour s'adapter vis-à-vis de l'extérieur, c'est-à-dire du marché, qui joue le rôle de stabilisateur. Dans cette optique, la stratégie du gestionnaire sera de choisir parmi les facteurs de production possibles la meilleure combinaison à réaliser. Quant aux quantités à fabriquer, elles seront définies par une approche marginaliste de comparaison entre le coût et le prix de vente de la dernière unité produite. Ces deux décisions participent ainsi à l'équilibre général.

Le modèle obtenu est optimal pour la théorie néoclassique car il sélectionne les meilleures entreprises, et permet au consommateur d'obtenir un produit au prix le plus faible possible et de répartir son revenu suivant l'utilité marginale que lui procurent les biens vendus sur le marché.

Selon cette vision, le modèle de représentation d'une organisation productive est donc très simple et linéaire : il s'agit d'une "cellule" dont les entrées sont des prix fixés par le marché et dont les sorties sont des quantités produites en fonction de ces prix. A l'intérieur de cette cellule ont lieu des réactions d'adaptation à l'environnement par recherche de maximisation de l'utilité globale des biens dont on dispose et menant à la combinaison optimale des facteurs de production. Dans ce modèle néoclassique, c'est à l'extérieur de l'entreprise que l'équilibre général est réglé par l'égalité entre l'offre et la demande sur tous les marchés. A l'intérieur de l'organisation productive, prennent place des phénomènes de régulation de fonctionnement par adaptation aux conditions extérieures.

⁸ L. WALRAS : *Eléments d'économie politique pure*. 1874.

Approche organisationnelle

J. March et H. Simon⁹ distinguent deux axes dans la théorie traditionnelle de l'organisation : la direction scientifique qui se concentre sur les activités de transformation physique de base, et la théorie de la départementalisation qui s'occupe davantage des problèmes d'organisation.

La direction scientifique découle des travaux de F. Taylor¹⁰ et se caractérise surtout par l'étude des temps et l'étude des méthodes autour de l'activité de transformation physique. L'objectif de ces études est d'employer un facteur de production particulier, l'organisme humain, de la manière la meilleure possible dans le processus de production. Cet objectif rejoint la vision micro-économique néoclassique de la firme dans sa recherche de combinaison optimale des moyens de production. La direction scientifique utilise des outils analytiques de diagnostic comme la M.T.M.¹¹, qui permet d'étudier les mouvements nécessaires pour réaliser une action et qui accorde à chaque geste un temps déterminé, à partir de 18 classes d'activités de base (therbligs) développés par F. et L. Gilbreth¹² et décrivant chacune un type de mouvement. La théorie de la direction scientifique préconise de faire appel à l'étude des temps et méthodes pour découvrir la "seule bonne façon" d'accomplir un ouvrage, et recommande de stimuler le travailleur individuellement par une prime au rendement. Cette démarche analytique et compartimentée, postule en particulier que la maximisation des rendements locaux amènera à l'optimum global pour l'organisation productive.

La théorie de la départementalisation s'occupe de l'organisation au sens de la division départementale du travail et de la coordination. Elle concerne le problème suivant : "étant donné un objectif général posé à une organisation, nous pouvons identifier les tâches élémentaires nécessaires à l'accomplissement de cet objectif. Ces tâches comprendront normalement des activités fondamentales de production, des activités de service, de coordination, de supervision, etc. Le problème est de rassembler ces tâches en postes de travail individuels, d'assembler ces postes en unités administratives, celles-ci en unités plus grandes, et en fin de compte de définir les services au niveau le plus élevé, et en outre de

⁹ J. MARCH et H. SIMON : *Les organisations*, op. cit., p. 12.

¹⁰ F. TAYLOR : *Organisation du travail et économie des entreprises*, Editions d'organisation, 1990.

¹¹ Méthode des Temps et Mouvements, ou Methods Time Measurement.

¹² F. et L. GILBRETH : *Applied Motion Study*, 1917.

faire ces groupements de façon à rendre minima les dépenses totales nécessitées par l'accomplissement de toutes ces activités"¹³.

Ainsi par exemple, L. Gulick et L. Urwick décomposent les actions d'une organisation productive en sept activités fondamentales¹⁴ : le planning, l'organisation, le pourvoi des postes, la direction, le contrôle et l'établissement des budgets.

H. Fayol, également considéré comme un auteur du mouvement de la départementalisation, répartit toutes les opérations possibles en entreprise entre six groupes¹⁵ :

1. Opérations techniques (production, fabrication, transformation) ;
2. Opérations commerciales (achats, ventes, échanges) ;
3. Opérations financières (recherche et gérance des capitaux) ;
4. Opérations de sécurité (protection des biens et des personnes) ;
5. Opérations de comptabilité (inventaire, bilan, prix de revient, statistiques, etc.) ;
6. Opérations administratives (prévoyance, organisation, commandement, coordination et contrôle).

Et si l'on détaille cette sixième opération, pour H. Fayol, "administrer, c'est prévoir, organiser, commander, coordonner et contrôler :

- Prévoir, c'est-à-dire scruter l'avenir et dresser le programme d'action ;
- Organiser, c'est-à-dire constituer le double organisme, matériel et social, de l'entreprise ;
- Commander, c'est-à-dire faire fonctionner le personnel ;
- Coordonner, c'est-à-dire relier, unir, harmoniser tous les actes et tous les efforts ;
- Contrôler, c'est-à-dire veiller à ce que tout se passe conformément aux règles établies et aux ordres donnés"¹⁶.

¹³ J. MARCH et H. SIMON : *Les organisations*, op. cit., p. 22.

¹⁴ L. GULICK et L. URWICK : *Papers on the Science of Administration*, 1937, cité dans B. LUSSATO : *Introduction critique aux théories d'organisation*, Dunod, 1977, p. 34.

¹⁵ H. FAYOL : *Administration industrielle et générale*, Dunod, 1918, p. 2.

¹⁶ *Idem*, p. 5.

Assurer la marche de ces six fonctions essentielles permet de "conduire l'entreprise vers son but en tirant le meilleur parti possible de toutes les ressources dont elle dispose"¹⁷.

Nous retrouvons à travers cette théorie de la gestion administrative certains concepts de l'approche économique néoclassique et notamment l'adaptation à l'environnement par une recherche de maximisation de l'utilité globale des biens dont l'entreprise dispose, et qui doit mener à la combinaison optimale des facteurs de production. Notons d'autre part que les membres de l'organisation sont ici considérés comme capables d'assumer un travail et de recevoir des directives, mais pas susceptibles de faire preuve d'initiative ou d'exercer une influence importante.

Toutes ces descriptions traditionnelles procèdent d'une même approche analytique qui tend à décomposer le processus de transformation physique aussi bien que l'organisation en compartimentant les différents éléments afin de les contrôler séparément. Selon ce point de vue, la gestion d'une organisation productive sera réalisée par des actions de contrôle et de commande directes sur ses constituants. Et si l'aspect coordination est traité, par exemple à travers la sixième opération de H. Fayol dans un objectif d'harmonisation des efforts, l'aspect communication entre les différents éléments n'est en revanche pas abordé.

2. Complexité et nature systémique

2.1 Complexité des organisations productives

L'approche sociologique des organisations réalisée par J. March et H. Simon, ou encore par M. Crozier¹⁸ montre que dans les comportements de groupes apparaissent en fait des phénomènes imprévisibles et inattendus.

Ainsi, dans une organisation productive, que l'on peut aussi considérer comme un groupe d'individus, des phénomènes comportementaux vont spontanément prendre naissance. Comme illustration de ce type de phénomène, on peut citer par exemple les attitudes générales suivantes¹⁹ :

¹⁷ *Ibid.*

¹⁸ Sur l'articulation entre système organisé et cohérent d'une part, et liberté des acteurs constituant ces systèmes d'autre part, voir par exemple M. CROZIER et E. FRIEDBERG : *L'acteur et le système*, Seuil, 1977.

- l'antagonisme à la commande directe,
- le comportement anti-intuitif,
- l'homéostasie, c'est-à-dire la stabilisation et le maintien naturel dans une situation acceptable,
- la possibilité de commande indirecte, par exemple par des effets de motivations.

Naturellement, ces attitudes vont s'opposer aux volontés de commande et de contrôle direct de la théorie de la gestion administrative : l'antagonisme à la commande directe ou encore l'homéostasie contrecarrent les principes de commandement du personnel, et le comportement anti-intuitif rend difficiles les fonctions administratives de prévisions et de coordination décrites par H. Fayol.

Ces attitudes dénotent en fait une caractéristique forte des organisations humaines telles que nous les percevons aujourd'hui : la complexité.

Cette complexité est présente dans toute organisation productive. Pour J. van Gigch²⁰, elle est le résultat de la multiplicité et de l'enchevêtrement des interactions humaines dans une organisation. On retrouve cette approche chez J. de Rosnay²¹ qui considère que la complexité émerge d'une organisation par la variété de ses éléments et par les interactions entre ceux-ci. La complexité est également définie par J. Mélése comme un caractère fondamental des organisations, qui provient de l'incapacité de les décrire et de déduire leur comportement à partir de la simple connaissance du comportement de leurs parties²². J. L. Lemoigne y associe de plus la notion d'imprévisible possible : un système est complexe pour un observateur "parce qu'il tient pour certain l'imprévisibilité potentielle des comportements"²³.

Pour notre étude, ce caractère complexe des organisations rendra nécessaire une approche plus globale que celle de la théorie de la direction scientifique. En particulier, on ne peut plus compter atteindre un optimum global de l'ensemble simplement comme résultat de la somme des meilleurs rendements locaux de chaque partie. On ne peut non plus espérer

¹⁹ J. LEBEL : "La dynamique des systèmes, analyse et synthèse", in *Modélisation et maîtrise des systèmes techniques économiques sociaux*, Actes du congrès de l'AFCET, Tome 1, 1977, p. 237.

²⁰ J. van GIGCH : *Applied General System Theory*, Harper & Row publishers, 1974, p. 1.

²¹ J. de ROSNAY : *Le macroscope*, Le Seuil, 1975, p. 94.

²² J. MELESE : *L'analyse modulaire des systèmes*, Les Editions d'organisation, 1991, p. 51.

²³ J. L. LEMOIGNE : *La modélisation des systèmes complexes*, Dunod, 1990, p. 3.

comprendre et gérer une organisation productive simplement en la décomposant en éléments selon des fonctions prédéterminées, et sans s'occuper des relations entre ces éléments.

2.2 Nature systémique des organisations productives

J. Mélése complète les décompositions précédentes qu'il qualifie d'*organique* car divisant l'organisation suivant des critères fonctionnels (technique, commercial, financier, ...) par des partitions de nature *physiologiques* analysant les *relations* qui connectent les éléments : relations techniques, relations d'autorité, relations interpersonnelles, relations financières, ... C'est l'analyse simultanée selon ces deux types de décomposition qui permet pour lui la compréhension de phénomènes réels qui résultent d'un ensemble de relations appliquées sur un ensemble d'éléments²⁴.

La nécessité de cette approche globale, prenant en compte à la fois les éléments et les interactions entre ces éléments traduit une caractéristique forte des organisations productives : leur nature systémique. Ce concept de "système" peut être décrit en première approche par cette double définition très générale qu'en donne J. Mélése²⁵ :

- un système est un ensemble organisé ;
- un système est un assemblage d'éléments formant un ensemble complexe.

Plus précisément, une entreprise apparaît déjà comme un "système" si l'on considère "sa cohérence (culture liée au produit, à sa localisation, à ses sources de financement), l'existence d'un environnement (marché, concurrence), la définition de finalités (objectifs) et les fonctions et organes en permettant l'activité"²⁶.

L'existence de l'environnement (marché, concurrence) mais aussi et surtout l'*ouverture* sur l'environnement sont des particularités systémiques fortes des organisations productives. Aussi, pour M. Gibert, "procéder à une approche systémique des unités de production, c'est

²⁴ J. MELESE, *op. cit.* p. 29.

²⁵ *Idem*, p. 50.

²⁶ J. FUERXER : "Economie et systémique", in *Modélisation et maîtrise des systèmes techniques économiques sociaux*, Actes du congrès de l'AFCE, Tome 1, 1977, p. 249.

d'abord les considérer comme en relation avec un environnement"²⁷. Cette ouverture se concrétise en particulier par des échanges d'énergie, de matière ou d'information, entre les différents sous-systèmes constituant le système global que l'on observe (échange entre les services production, marketing, commercial, ...) mais aussi entre l'entreprise et son environnement.

A ce propos, nous remarquons que l'importance accordée à cette ouverture vis-à-vis de l'environnement dépend fortement du modèle micro-économique choisi. Nous devons certes constater que si l'on définit simplement un système par "quelque chose qui opère une transformation entrée sortie"²⁸, la théorie néoclassique procède déjà d'une approche systémique. En effet, selon cette définition, la transformation d'une entrée de type prix en une sortie de type quantité est bien une transformation systémique. Cependant ce type de système est très *fermé* vis-à-vis de l'environnement puisqu'il ne communique et ne se régule que par l'intermédiaire des deux variables prix et quantité. Cette vision de l'entreprise est qualifiée de système "clos" puisque l'on isole un certain nombre de variables (prix, quantités) dont on essaye de spécifier une codétermination, et qui définissent ainsi le mode de fonctionnement et de régulation²⁹.

En revanche, l'approche Keynésienne, et en particulier la demande effective qui regroupe les anticipations des entrepreneurs à la fois sur ce que les consommateurs vont décider de consacrer à leur consommation et ce que les entreprises et l'Etat vont décider d'investir, correspond à une vision systémique plus ouverte sur l'environnement. Le chef d'entreprise prend ainsi ses décisions en fonction des informations dont il dispose sur la situation de l'entreprise, l'état du portefeuille de commandes, l'évolution du marché ou l'économie en général. Dans ce cas un grand nombre de variables et d'informations entrent en jeu dans les phénomènes de prise de décision. Dans cette optique, l'entreprise possède également un pouvoir de négociation dans le jeu économique et social. Elle possède ainsi une certaine capacité à agir sur son environnement (clients, fournisseurs, concurrents, ...) à travers des rapports de forces ou des actions d'influence.

D'une part, ce type de comportement stratégique actif est actuellement courant dans le monde industriel, et d'autre part "même si l'on admettait que l'entreprise identifie son environnement sous forme d'un certain nombre de marchés homogènes, son information

²⁷ M. GIBERT : *L'intégration des systèmes de production*, op. cit., p. 25.

²⁸ Définition proposée par J. MELESE, op. cit., p. 55.

²⁹ B. PAULRE : "Entreprise-système", in *Modélisation et maîtrise des systèmes techniques économiques sociaux*, Actes du congrès de l'AFCE, Tome 1, 1977, p. 269.

reste souvent très imparfaite, et la relation prix-quantité devient incertaine"³⁰. L'approche néoclassique traditionnelle de type système clos devra donc être complétée par des analyses sur les comportements internes des acteurs, ainsi que sur les relations élargies entre la firme et son environnement, puisque "dans toute entreprise on peut identifier plusieurs régimes ou plusieurs logiques de fonctionnement qui coexistent sans que l'on soit toujours certain de pouvoir identifier la logique dominante, c'est-à-dire celle qui est censée déterminer et caractériser l'évolution du système"³¹. Nous ne pourrons donc pas déduire la logique de comportement seulement à partir d'une loi de codétermination entre deux variables prix et quantité reflétant un mode de régulation imposé par l'extérieur. C'est pourquoi notre approche devra considérer les organisations productives comme des systèmes *ouverts* en interaction permanente avec l'environnement, et constitués d'éléments possédant des comportements propres issus de leurs logiques spécifiques.

Nous notons enfin que les organisations productives possèdent des propriétés identifiées et utilisées dans le domaine de la cybernétique. On peut citer en particulier l'existence de réserves dans l'entreprise : stocks de capital, fonds propres, réserves de matières premières, portefeuille de commandes³². On peut également citer la présence de délais ou encore de temps de retard en réaction à un événement, ainsi que l'existence de boucles de régulation permettant l'alignement sur un objectif ou sur une trajectoire désignée (objectif de rendement, de productivité, trajectoire de projet, ...). On peut encore citer l'existence d'anticipation donc de prédiction en univers incertain au sens du modèle Keynésien de la demande effective par exemple.

Toutes ces caractéristiques des organisations productives se retrouvent classiquement dans les sciences de l'automatique, dans l'étude des phénomènes dynamiques des systèmes asservis, et plus généralement dans la systémique. Aussi, l'approche système sera nécessairement très présente dans la suite de notre étude. Cela nous amène donc à approfondir dès à présent les liens entre science économique et approche systémique, puis à identifier les outils de type cybernétique qui ont été utilisés jusqu'ici pour la compréhension des organisations productives.

³⁰ M. ALBOUY : *La régulation économique dans l'entreprise*, Dunod, 1972, p. 229.

³¹ *Idem*, p. 259.

³² J. FUERXER : "Economie et systémique", *op. cit.*, p. 249.

SECTION II : ECONOMIE ET SYSTEMIQUE

Nous allons dans un premier temps préciser les origines de la systémique ainsi que les applications réalisées au départ dans le domaine de la science économique. Cela nous permettra ensuite de faire émerger et de décrire les principaux concepts qui animent l'approche système. Nous situerons ensuite cette démarche dans le processus général d'acquisition des connaissances, puis nous repérerons pour la suite les paradigmes fréquemment utilisés pour appréhender le fonctionnement des organisations productives. Nous nous servirons de ces paradigmes dans la troisième section afin de préciser les concepts utilisés pour décrire ces organisations.

1. Historique et concepts

1.1 Origines de l'approche système

Les travaux de N. Wiener³³ sur la régulation et la communication chez l'animal et dans la machine marquent le point de départ de la vision cybernétique des systèmes naturels et artificiels. Cette approche se base en particulier sur le concept de commande par rétroaction négative, qui consiste en un bouclage d'information entre la consigne envoyée et le résultat obtenu. Si le résultat est plus fort que la consigne, la commande est diminuée, et inversement si le résultat est inférieur à la consigne, la commande est augmentée. Un effet stabilisateur est ainsi obtenu pour le système, l'action s'effectuant dans le sens opposé de l'écart entre le résultat et la consigne, d'où la dénomination de bouclage négatif.

La théorie des systèmes asservis repose sur ce principe du mécanisme régulateur, déjà ancien puisque utilisé par J. Watt dans son dispositif de régulation à boules. Mais l'approche cybernétique ne se réduit pas à la commande par rétroaction : elle intègre également des concepts d'information et de signal³⁴. En effet, le bouclage requiert une communication d'informations entre différents éléments du système. Selon le modèle de communication très classique de C. Shannon, transmettre un message nécessite un émetteur (ou source), un

³³ N. WIENER : *Cybernétique, ou régulation et communication chez l'animal et dans la machine*, Hermann, 1948.

³⁴ R. VALLEE : "Origine et évolution de la systémique" in *Systémique, Théorie & applications*, Technique & documentation - Lavoisier, 1992, p. 14.

système de codage, un canal de transmission, un système de décodage et un récepteur (ou destinataire). Or l'ensemble, et particulièrement le canal, est soumis à des bruits perturbateurs qui se superposent au signal. Selon ce modèle, la bonne diffusion de l'information nécessite donc le recours à la théorie du signal et notamment aux techniques de filtrage développées par N. Wiener ou R. Kalman. Et la quantité d'informations apportée par un message annonçant un événement sera pour C. Shannon d'autant plus grande que l'événement était peu prévisible. Nous voyons donc que dans l'approche cybernétique, le concept d'information est fortement lié au concept de communication, ce qui n'était pas le cas dans les représentations traditionnelles de la section précédente.

Un second courant, parallèle à la cybernétique, a été développé par L. von Bertalanffy sous le nom de théorie générale des systèmes³⁵. Cette approche, inspirée de considérations philosophiques ou biologiques, s'intéresse aux propriétés générales des systèmes définis comme des ensembles d'éléments en interaction, propriétés notamment induites par l'idée selon laquelle le tout est plus que la somme de ses parties. La théorie générale des systèmes s'applique à des domaines très variés comme les sciences naturelles, les sciences sociales, l'économie, la physique, ... Elle s'attache à repérer les isomorphismes entre concepts, lois et modèles et à découvrir des comportements communs dans différents domaines d'application.

Le raisonnement suivant est caractéristique de l'utilisation d'une métaphore thermodynamique pour décrire des comportements de nature économique : "dans un système clos, l'entropie³⁶ s'accroît et le système se déstructure, c'est-à-dire que tous les éléments tendent vers une plus grande ressemblance, alors que dans un système ouvert, l'entropie diminue et les éléments tendent à se différencier les uns des autres. Ainsi, sur un marché fermé où la demande et les coûts ne varient pas, et où il n'y a pas d'arrivée de nouveaux venus, la concurrence cesse au bout d'un certain laps de temps et les entreprises de ce fait tendent à adopter toutes le même comportement. Si en revanche le marché est ouvert et qu'il y a de nouveaux venus, certaines entreprises sont éliminées, certaines se développent, d'autres se créent dans des créneaux nouveaux et la structure se différencie"³⁷.

Les premières applications de l'approche système à l'économie se trouvent chez J. Forrester et chez S. Beer.

³⁵ L. von BERTALANFFY : *Théorie générale des systèmes*, Dunod, 1976.

³⁶ Grandeur utilisée en thermodynamique, et que l'on peut apparenter ici à une mesure de l'uniformité.

³⁷ M. CAPET, G. CAUSSE, J. MEUNIER , *Diagnostic, organisation, planification d'entreprise*, Economica, 1986 , p. 39.

J. Forrester a développé un modèle national socio-économique des Etats-Unis qui décrit les interactions de 6 secteurs : production, institutions financières, gouvernement, ménages, population et main d'oeuvre. Ce modèle opérationnel intègre le court, le moyen et le long terme, et vise à reproduire tous les cycles dont les économistes font état (cycles courts, cycles de Kuznetz, cycles de Kondratieff)³⁸. Il décrit ainsi les interactions entre des grandeurs à variation rapide telles que la production et les stocks, des variables qui s'ajustent plus lentement telles que l'emploi dans les différents secteurs, et des variables qui changent très lentement telles que les caractéristiques démographiques et l'utilisation des ressources naturelles.

Cette approche, appelée dynamique des systèmes, utilise le principe de rétroaction pour relier un ensemble de variables de stocks et un ensemble de variables de flux. L'exemple simplifié suivant illustre ce mécanisme³⁹ :

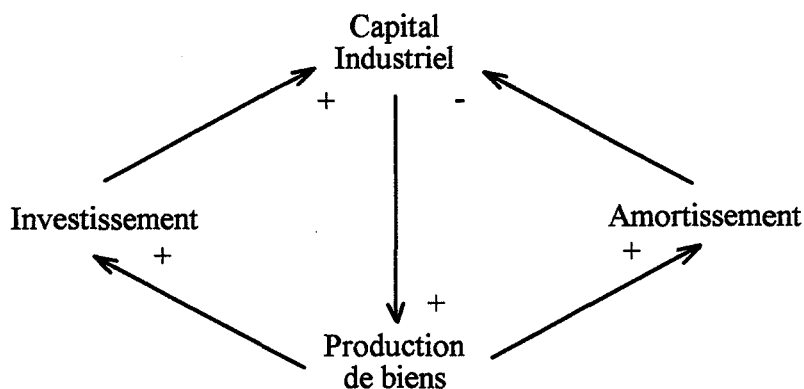


Schéma 1 : Exemple de graphe en dynamique des systèmes

La production de biens s'accroît avec le niveau du capital industriel. Une partie de ces biens, par le biais de l'investissement, augmente à nouveau le capital industriel. L'ensemble crée une première boucle de réaction positive. En revanche, l'amortissement introduit une diminution du capital industriel, créant une seconde boucle négative stabilisante⁴⁰. Le capital

³⁸ Décrit par A. BLOCH : "Vers un renouveau de la pensée économique" in *Modélisation et maîtrise des systèmes techniques économiques sociaux*, op. cit., p. 107.

³⁹ Exemple tiré de J. LEBEL, "La dynamique des systèmes, analyse et synthèse", op. cit., p. 237.

⁴⁰ J. LEBEL fait remarquer que l'exemple est "ultra-simplifié". En particulier, les taux d'investissement ne sont pas fixes et peuvent dépendre d'autres variables du système (profitabilité, endettement, ...) ou de

industriel est une variable de stock qui interagit ici avec trois variables de flux : production, investissement et amortissement.

Cette technique permet la compréhension de phénomènes macro-économique (J. Forrester a également créé un modèle mondial), ou des comportements micro-économique au niveau d'une entreprise. Au delà d'une approche simplement cinématique qui n'observerait que la trajectoire d'un système, elle décrit de façon dynamique les forces qui créent le changement ou qui s'y opposent, liant ainsi par des relations causales les actions et les comportements. Ainsi, dans le modèle national de J. Forrester, le secteur production se fixe des objectifs à atteindre (volume de production, niveau de stock, ...) et modifie son comportement pour atteindre ces objectifs, par adaptation et selon un processus proche de l'homéostasie.

Quant à S. Beer, il s'est situé dans la *sphère de contrôle* de l'économie (observation, transmission et traitement de l'information, prise de décision) par opposition à la *sphère réelle* (production, consommation et échange)⁴¹. Son approche cybernétique permet d'expliquer les mécanismes de crises par des imperfections ou des dysfonctionnements des mécanismes de contrôle.

En particulier, il considère que les délais de constitution de l'information économique par agrégation de mesures locales (taux d'inflation, chômage, ...) sont trop longs vis-à-vis de la fréquence des perturbations auxquelles les systèmes sont soumis, rendant ainsi le contrôle et le pilotage impossibles⁴². La solution consiste alors à améliorer le système d'aide à la décision en lui fournissant un système d'information "temps réel" à partir d'indicateurs élémentaires locaux (de stock, de production, de productivité, ...) transmis rapidement pour assurer un pilotage économique réactif.

Après avoir abordé les jalons du développement de l'approche système, nous allons à présent décrire les concepts principaux qui l'animent.

circonstances extérieures (conjoncture, situation de l'emploi, ...). D'autre part, le terme *amortissement* est à prendre ici au sens d'une dépréciation.

⁴¹ Distinction faite par J. KORNAL dans *Antiequilibrium; on economic systems theory and the tasks of research*, 1971, cité par A. BLOCH p. 111.

⁴² Le théorème de Shannon énonce que pour conserver toute l'information d'un signal que l'on discrétise, la fréquence d'échantillonnage doit être au moins le double de la fréquence la plus élevée contenue dans ce signal.

1.2 Concepts principaux

Pour B. Lussato, l'organisation est "l'établissement et le maintien de la structure de l'entreprise par la création, la suppression, la modification des organes et des relations vitales entre ces organes"⁴³, et dans ce cadre, "l'approche de la théorie des systèmes cherche à rendre compte de tout ensemble *organisé*"⁴⁴.

C'est pourquoi, les concepts de base de l'approche systémique se trouvent en correspondance avec les caractéristiques fortes des organisations productives que nous avons identifiées, et en particulier, l'ouverture vers l'extérieur, l'importance des relations au sein de la structure, la présence de finalités, et la complexité.

L'ouverture vis-à-vis de l'environnement

Un système nécessite un échange permanent avec le milieu extérieur dont il reçoit énergie, matériaux, informations. En particulier, le flux d'informations qui est échangé entre l'extérieur et les composants du système participe au pilotage des flux d'énergie et de matière. Dans le cas d'un système industriel, il s'agira par exemple des commandes des clients ou encore de la demande effective du modèle Keynesien.

En allant plus loin, ce flux contribue à enrichir l'information de la structure propre du système, participant à son identité profonde et à sa spécificité, par opposition au système fermé dont nous avons parlé plus haut⁴⁵ et qui ne peut évoluer que vers l'uniformité en augmentant son entropie. Ainsi, c'est "l'environnement multiple qui suscite l'organisation : chaque organe ayant à apporter directement ou indirectement une réponse spécifique à un élément d'environnement. Les organes sont eux-mêmes subdivisés en rôles instrumentaux par rapport aux exigences de l'environnement et aux problèmes internes que posent celles-ci à l'organisme"⁴⁶.

Nous reviendrons dans la section suivante sur cette théorie de la contingence et sur ses implications pour la structure d'une organisation ouverte.

⁴³ B. LUSSATO : *Introduction critique aux théories d'organisation*, op. cit., p. 37.

⁴⁴ B. LUSSATO : *Modèles cybernétique, hommes, entreprises*, Tome 1, Dunod, 1972, p. 98.

⁴⁵ Cf. *supra* p. 29.

⁴⁶ B. LUSSATO : *Introduction critique aux théories d'organisation*, op. cit., p. 37.

L'importance de la structure dans ses aspects dynamiques

J. Peyrega met en évidence les "quatre concepts fondamentaux de système, structure, fonction, évolution qui interviennent à chaque pas dans une approche systémique" et souligne "l'importance fondamentale et l'étroite imbrication de l'ensemble de ces quatre notions essentielles"⁴⁷. L'approche de la théorie des systèmes considère de plus que les éléments sont structurés en niveaux internes de complexité croissante qui s'englobent les uns dans les autres sous forme de sous-systèmes, parties de système, pour arriver finalement au système le plus englobant. Tous ces niveaux et éléments individuels sont eux-mêmes reliés par une grande variété de liaisons, de sorte que les caractéristiques de cette haute densité d'interconnexion sont tout aussi fondamentales pour déterminer le comportement global du système que les propriétés locales de ses parties. La constitution d'une structure induit ainsi des phénomènes d'*émergence* en faisant apparaître des propriétés nouvelles qui n'étaient pas contenues dans les éléments.

La présence de finalités

Cet aspect téléologique est un point important dans la science des systèmes. H. Simon distingue à ce propos les systèmes construits par l'homme ou "artefact" qui possèdent une finalité pour laquelle ils ont été créés, et les systèmes naturels qui eux sont non finalisés⁴⁸. Et dans une organisation productive, on trouvera non pas un seul système, mais plusieurs systèmes emboîtés les uns dans les autres (un service production est un sous-système du système entreprise, et inclut par exemple des sous-systèmes ateliers). Ainsi, une entreprise, créée selon une finalité, est constituée de sous-systèmes également finalisés (services, ateliers, ...) mais qui sont eux-mêmes constitués d'individus que l'on peut considérer comme des systèmes naturels non finalisés au sens de H. Simon. Une des sources de complexité provient probablement de cette association entre ces deux types de systèmes. Notre compréhension systémique d'une organisation productive devra donc s'attacher à relier les comportements globaux des systèmes finalisés avec les comportements locaux de ses individus possédant, comme le précisaient J. March et H. Simon⁴⁹, leurs propres attitudes et leurs propres rationalités.

⁴⁷ J. PEYREGA : "Vers une analyse cybernétique des systèmes socio-économiques", Première Partie, *Issue*, n° 21, 1985, p. 8.

⁴⁸ H. SIMON : *La science des systèmes, science de l'artificiel*, Epi Editeurs, 1974, p. 18.

⁴⁹ Cf. *supra* p. 18.

L'omniprésence de la complexité

"Les notions de complexité et d'organisation apparaissent centrales dans cette méthode (la théorie des systèmes) qui vise à mieux comprendre et à mieux décrire la complexité organisée"⁵⁰. J. L. Lemoigne interprète étymologiquement le mot complexité par les notions d'enchevêtrement et de connexion⁵¹. Aussi, l'importance accordée à la structure et à ses interconnexions par le concept de système, "entendu comme un enchevêtrement intelligible et finalisé d'actions indépendantes"⁵² en fait un outil privilégié pour l'étude des phénomènes complexes. Et le domaine micro-économique n'échappe pas à une complexité croissante. Pour D. Genelot, "l'entreprise est complètement immergée dans ce courant de complexification, et dans une certaine mesure concentre la complexité par le fait qu'elle se trouve au carrefour de l'économique, du technique, du social. Chacun de ces domaines, déjà complexe en soi, se tisse aux deux autres dans des combinaisons mouvantes extrêmement difficiles à appréhender"⁵³. Cette complexité relance le problème du pilotage des systèmes. Ainsi, pour J. Mélése, "dans la vie économique, la plupart des systèmes à contrôler sont ou deviennent rapidement très complexes, c'est-à-dire que des dispositifs simples ne suffisent plus pour les piloter et en obtenir des réponses satisfaisantes"⁵⁴. Pour lui, "l'homme, le gestionnaire, le manager sont engagés dans une *lutte contre la complexité* de l'univers technique, économique, social où ils sont plongés : comment conserver le contrôle du système de production, des prix de revient, de l'endettement, des délais de livraison, de la part de marché, etc. ?"⁵⁵. Pour lui également la complexité des organismes à contrôler s'accroît sans cesse, et "cette recherche du contrôle et de la maîtrise de l'évolution des phénomènes techniques et économiques se heurte aux tendances de toutes les organisations : croissance, diversification, multiplication des objectifs, accélération du changement, interconnexions de plus en plus accentuées avec d'autres organisations et avec l'environnement"⁵⁶. Ainsi selon cette approche, le degré de maîtrise de l'évolution d'un organisme dépend de la capacité de contrôle du système de pilotage qui lui est intégré. Et

⁵⁰ M. GIBERT, *op. cit.*, p. 17.

⁵¹ J. L. LEMOIGNE : *La modélisation des systèmes complexes*, Dunod, 1990, p. 24.

⁵² *Idem.*

⁵³ D. GENELOT : *Manager dans la complexité*, INSEP Editions, 1992, p. 30.

⁵⁴ J. MELESE : *L'analyse modulaire des systèmes*, Les Editions d'organisation, 1991, p. 48.

⁵⁵ *Idem.*

⁵⁶ *Ibid.* p. 49.

plus la variété⁵⁷ qui caractérise le système est élevée, plus sa maîtrise par un système de contrôle est difficile. En pratique, la loi de la variété requise formulée par R. Ashby énonce que pour qu'un système soit totalement sous contrôle, la variété du système de contrôle doit être au moins égale à celle du système contrôlé. Nous verrons naturellement par la suite que la recherche d'un contrôle complet va buter sur la complexité croissante des systèmes à contrôler.

Nous avons présenté l'approche systémique comme la science visant à comprendre le fonctionnement et la structure des systèmes, par la connaissance des relations, des processus et des régulations qui s'y déroulent. Nous allons à présent situer la place de cette science des systèmes dans le processus général d'acquisition des connaissances et identifier les paradigmes systémiques que nous pourrions utiliser par la suite.

2. Epistémologie et paradigmes

2.1 La systémique, science de conception et d'action

J. L. Lemoigne définit la systémique comme "la science de la modélisation pour la maîtrise par l'action, de l'intervention des hommes dans et sur les systèmes techniques, économiques, sociaux qu'ils conçoivent, qu'ils animent, qu'ils transforment"⁵⁸. Cette vision dynamique (action, intervention, conception, animation, transformation) provient en particulier de son interprétation de la systémique comme conjonction des paradigmes cybernétiques et structuralistes. En effet, il définit la procédure cybernétique comme "la conjonction des concepts d'environnement actif et de projet ou de téléologie"⁵⁹, ce qui permet l'interprétation des comportements en référence permanente aux projets du système étudié dans son environnement changeant. Il définit d'autre part la procédure structuraliste comme "la conjonction des concepts de fonctionnement et de transformation"⁶⁰, ce qui permet l'interprétation des comportements selon les fonctions du système et selon ses

⁵⁷ La variété est le nombre d'états différents que peut présenter le système.

⁵⁸ J. L. LEMOIGNE : "La systémique au service des sciences de l'action" in *Modélisation et maîtrise des systèmes techniques économiques sociaux*, op. cit., p. 19.

⁵⁹ J. L. LEMOIGNE : *La modélisation des systèmes complexes*, op. cit., p. 38.

⁶⁰ *Idem*, p. 39.

évolutions dans le temps. La conjonction systémique de ces deux procédures tient "pour inséparable le fonctionnement et la transformation d'un phénomène, des environnements actifs dans lesquels il s'exerce et des projets par rapport auxquels il est identifiable"⁶¹. La vision systémique est alors "la représentation d'un phénomène actif perçu identifiable par ses projets, dans un environnement actif, dans lequel il fonctionne et se transforme téléologiquement"⁶².

Cette omniprésence de l'action sur la structure dans l'approche système était déjà identifiée par H. Simon sous la dénomination de science de la conception ("science of design"), et comparée à une approche plus classique considérant que les données de structures sont acquises au départ et immuables. La *conception de système* (System Design) est aussi opposée par J. van Gigh à la simple *amélioration de système* (System Improvement) qui ne consiste qu'à assurer le fonctionnement d'un système conformément à des spécifications préétablies, en considérant que la conception a déjà été réalisée et est donnée⁶³. La procédure d'amélioration est en général amorcée lorsque le système n'atteint pas les résultats ou les objectifs pour lesquels il avait été initialement conçu, ou ne fonctionne pas comme il était initialement prévu. Il convient alors de rechercher une explication pour expliquer un comportement anormal, ce qui nécessite la définition préalable d'une norme de fonctionnement souhaité. Le problème sera alors analysé selon un processus de déduction qui doit mener jusqu'au sous-système ou à l'élément responsable du dysfonctionnement. En résumé, l'amélioration de système passe par les étapes suivantes⁶⁴ :

- le problème est défini et les systèmes et ses composants sont identifiés,
- l'état du système et son comportement sont observés,
- l'état présent est comparé avec les objectifs pour évaluer les écarts,
- les causes des écarts sont recherchées à l'intérieur du système,
- des conclusions sont tirées à partir des faits par un processus de déduction, et le problème global est découpé en problèmes de niveau inférieur selon un processus de réduction.

Cette approche, fondée sur l'identification de déviations entre le comportement réel et un comportement standard souhaité, procède selon une méthode scientifique analytique.

⁶¹ *Ibid.*

⁶² *Ibid.*, p. 40.

⁶³ J. van GIGCH : *Applied General System Theory*, op. cit., p. 3.

⁶⁴ *Idem*, p. 4.

Elle possède selon J. van Gigch des limites inhérentes à cette méthode. En particulier, elle ne recherche les causes des dysfonctionnements qu'à l'intérieur du système sans se préoccuper des interactions dues à l'ouverture sur l'environnement, et sans considérer que le système participe à un système plus large qui le contient et l'influence. De plus, elle évalue les écarts par rapport à une norme sans envisager de remettre en cause cette norme ou de former à nouveau les objectifs qui la sous-tendent. Enfin, elle ne prend pas en compte les conséquences de la modification d'un système sur les autres systèmes qui l'entourent.

En résumé, pour J. van Gigch, le traitement des problèmes par la seule méthode d'amélioration est voué à l'échec, cette méthode ne fonctionnant que dans un contexte limité de petits systèmes comportant des interactions négligeables avec d'autres systèmes⁶⁵.

L'approche de type "conception de système" diffère de la précédente à la fois sur les méthodes, sur le mode de pensée et sur les perspectives. Pour traiter un problème, elle passe par les étapes suivantes :

- le problème est défini en relation avec le système englobant et avec les autres systèmes ayant des objectifs communs,
- les objectifs du système ne sont pas contenus à l'intérieur de chaque sous-système ou composant, mais concernent le système complet dans sa globalité,
- la structure actuelle doit être évaluée en fonction de l'écart du système par rapport à la structure optimale⁶⁶,
- cette structure optimale peut ne pas se trouver au voisinage de la structure actuelle ; aussi la conception d'une nouvelle structure nécessite la planification, l'évaluation et l'implémentation de nouveaux choix qui induiront des voies innovantes et créatives pour le système tout entier,
- la conception de système implique un processus de pensée de type inductif et synthétique qui diffère de la méthode déductive et réductrice précédente.

Ainsi, pour J. van Gigch, l'approche systémique doit s'appuyer sur une méthodologie de type conception de système, seule capable d'appréhender et de résoudre les problèmes dans leur globalité.

⁶⁵ *Ibid.*, p. 5.

⁶⁶ J. van GIGCH postule ici l'existence d'un *optimum*. J. L. LEMOIGNE réserve quant à lui ce terme à la méthode analytique et le remplace dans une vision systémique par la notion d'*adéquation*. Nous reviendrons plus loin sur cette question, également liée à l'existence de finalités multiples dans un contexte d'information imparfaite.

Le nécessaire passage de l'analyse à la conception que nous venons de décrire provient pour J. L. Lemoigne de l'impossibilité de simplifier analytiquement un problème complexe sans risque de le mutiler et de perdre ainsi son intelligibilité⁶⁷. La représentation et la compréhension des phénomènes complexes, donc indécomposables, doit se baser pour lui sur l'axiomatique de la logique conjonctive qui s'oppose à la logique disjonctive ou logique formelle d'Aristote. En effet, la logique disjonctive (incluant notamment l'axiome du tiers exclu : toute chose doit *ou* être *ou* ne pas être) "ne permet pas de rendre compte de phénomènes que nous percevons dans et par leurs conjonctions complexes"⁶⁸. Les situations complexes seront ainsi caractérisées par la coexistence de logiques de natures très différentes qu'il n'est pas possible de réduire sans dénaturer la situation. Pour E. Morin, ce phénomène correspond au principe *dialogique*, qui "signifie que deux ou plusieurs logiques différentes sont liées en une unité, de façon complexe (complémentaire, concurrente, et antagoniste)"⁶⁹. Aussi, dans le cadre d'une approche systémique, J. L. Lemoigne propose de substituer au découpage analytique une modélisation systémique menant au concept de *systémographe*, "procédure par laquelle on construit des modèles d'un phénomène perçu complexe, en le représentant délibérément comme et par un système en général"⁷⁰. Cette procédure passe par un changement de registre qui remplace les notions d'objets, d'éléments et d'ensemble par les notions de projet, d'unité active et de système. Le mot *analyse* est remplacé par *conception* (system design), et l'approche disjonctive (ou découpe analytique) par une approche conjonctive (ou articulation entre processus)⁷¹.

Cette opposition entre méthode analytique et méthode systémique ainsi que l'annonce de l'échec de la méthode analytique pour l'appréhension de phénomènes complexes méritent cependant d'être relativisées. Ainsi pour R. Vallee, "à côté d'un réductionnisme de l'analyse, il existe aussi un réductionnisme de la synthèse, le premier est lié à un point de vue trop exclusivement local, le second à un point de vue exagérément global. Ces deux attitudes sont utiles à une systémique équilibrée. C'est ce que Pascal exprimait en affirmant "tenir impossible de connaître les parties sans connaître le tout, non plus que de connaître le tout sans connaître particulièrement les parties"⁷².

⁶⁷ J. L. LEMOIGNE : *La modélisation des systèmes complexes*, op. cit., p. 11.

⁶⁸ *Idem*, p. 33.

⁶⁹ *Ibid.*

⁷⁰ *Ibid.*, p. 28.

⁷¹ *Ibid.*, p. 9.

⁷² R. VALLEE : "Origine et évolution de la systémique", op. cit., p. 18.

Aussi, notre compréhension du fonctionnement des organisations productives utilisera une approche systémique, qui sera toutefois précisée par des outils analytiques. Nous retrouverons par exemple au cours de notre démarche les limites de l'approche de type *amélioration de système*, et la nécessité du passage à une approche de type *conception de système*, notamment lors de la présentation de l'évaluation économique comme problème à résoudre⁷³. Lors de ce passage, nous établirons cependant la nécessité d'utiliser des outils analytiques de type indicateurs de performance, déclinés en particuliers suivant trois niveaux distinctifs (physique, marchand, financier) qui "découpent" nécessairement le système observé⁷⁴.

2.2 Démarche et paradigmes de représentation

G. Ribeill propose une description du processus global d'acquisition des connaissances selon l'approche systémique suivante⁷⁵ :

- Le phénomène réel est observé, perçu, décrit, puis interprété au travers d'une ou de plusieurs théories. Cette phase accepte la pluralité des théories économiques par exemple pour interpréter un même fait.
- Le caractère systémique, complexe et dynamique du phénomène observé est ensuite pris en compte, et la théorisation s'appuie pour cela sur la théorie générale des systèmes et sur ses principaux concepts, rompant à ce stade avec l'interprétation traditionnelle purement analytique.
- La phase suivante consiste à s'orienter vers des techniques d'analyse de systèmes, comparables à des langages spécialisés et qui vont rendre compte selon un certain formalisme de l'interprétation des phénomènes perçus. Le choix de ce langage répond à deux critères : d'une part à des préoccupations pratiques consistant à assurer entre le modèle et la réalité une articulation facile tout en assurant une certaine adéquation entre les capacités du modèle et les finalités du modélisateur, et d'autre part à un respect de la théorie retenue précédemment pour interpréter le réel étudié.

⁷³ Cf. *infra*, Chapitre 4, section 1, 1.1.

⁷⁴ Cf. *infra*, Chapitre 4, section 1, 2.2.

⁷⁵ G. RIBEILL : "Sur les techniques d'analyse de système : statut, classification, bilan critique", in *Modélisation et maîtrise des systèmes techniques économiques sociaux*, Actes du congrès de l'AFCE, Tome 1, 1977, p. 186.

- Il reste alors à construire le modèle selon le formalisme choisi, et à l'utiliser comme moyen d'aide à la connaissance et à l'action, ce qui reboucle ainsi le processus sur le monde réel.

Cette décomposition permet en particulier de bien distinguer la théorie générale des systèmes que nous avons présentée plus haut, de l'analyse des systèmes qui consiste en un ensemble de méthodes et de langages formels de modélisation du réel, ou encore un corpus de techniques et dont faisait partie par exemple l'approche de J. Forrester.

Pour G. Ribeill, théorie générale des systèmes et analyse des systèmes "se réfèrent l'un comme l'autre à des paradigmes communs, c'est-à-dire des lectures ou des interprétations privilégiées des systèmes"⁷⁶. Un même paradigme sera alors souvent retenu pour les trois premières phases du processus global d'acquisition des connaissances précédemment décrit, à savoir la théorisation systémique, l'orientation vers un formalisme et la construction d'un modèle. Parmi les paradigmes qu'il cite comme représentatifs d'une approche systémique, les plus utilisés jusqu'à présent pour l'interprétation des systèmes de production sont les suivants :

- Le paradigme mécaniste qui utilise des variables d'état continues reliées par des lois causales d'évolution, pilotées par des vecteurs de commande selon des contraintes et des critères d'optimisation. Ces techniques s'appliquent à l'aide à la connaissance par l'identification, à l'aide à la prévision par l'estimation et à l'étude des comportements par l'analyse des rétroactions. Les acteurs y ont un comportement rationnel, notamment pour la prise de décision.

- Le paradigme biologiste utilise également des variables d'état mais ajoute les concepts d'homéostasie, de stabilité et d'ultra-stabilité⁷⁷. Il correspond aux systèmes ouverts de L. von Bertalanffy, prend ses sources dans l'observation du comportement des êtres vivants et s'appuie sur les théories de la stabilité et de la régulation. Il permet l'aide à la connaissance des mécanismes d'auto-régulation. Les acteurs y sont définis par des comportements de régulations locales.

- Le paradigme des systèmes hiérarchisés qui s'attache aux liens entre processus globaux et processus locaux, notamment à travers les problèmes de déclinaisons

⁷⁶ *Idem*, p. 188.

⁷⁷ Voir *infra* p. 50.

hiérarchiques d'objectifs et de critères de performance globaux en objectifs et critères locaux. Il se base sur la théorie de la décomposition des systèmes à niveaux multiples. Les acteurs y sont rationnels et soumis à la hiérarchie.

- Le paradigme hydraulique fait appel à des variables de stock, de flux ou de niveau qui sont contrôlées par des ordres de débits. Il correspond aux modèles économiques de dynamique industrielle de J. Forrester, et permet l'étude prévisionnelle des évolutions d'un système. Les acteurs s'y comportent selon des lois de décisions définies à l'avance.

La cybernétique et la théorie de la commande des mécanismes technologiques et naturels ne constituent qu'une partie du corpus de techniques appartenant à la théorie générale des systèmes. Pourtant, les paradigmes mécanistes, biologistes et des systèmes hiérarchisés, qui se fondent sur les concepts de rétroaction et d'information et font appel à la cybernétique et à la commande, ont été les plus fréquemment employés pour représenter et comprendre le fonctionnement des organisations productives. Nous allons donc les utiliser pour décrire à présent les systèmes de production à la lumière des concepts de régulation et de contrôle. Nous verrons cependant plus loin dans notre démarche la nécessité de dépasser ces outils trop ancrés dans le paradigme cybernétique et d'utiliser les concepts plus appropriés d'approche cognitive et de méta-systémique.

SECTION III : REGULATION ET CONTROLE

Selon M. Albouy⁷⁸, "si le concept de système révèle une évolution considérable du mouvement scientifique des trente dernières années, le succès récent de la théorie des systèmes tient aux deux principaux problèmes qu'elle fait émerger, à savoir *l'identification et la régulation*". En effet, l'action d'organiser, qui correspond étymologiquement à la création des *moyens* nécessaires à une activité, revient à "structurer ou spécialiser les hommes, les machines et les capitaux dans les différents organes, coordonner ou réguler ces organes ou moyens entre eux ou par rapport à l'environnement"⁷⁹. L'organisation présente alors deux aspects complémentaires, à savoir la structure et la régulation. Nous allons donc aborder l'identification des structures des organisations productives, puis les modes usuels de régulation qui y sont pratiqués. Nous nous attacherons en particulier à montrer que la structure interne conditionne beaucoup le fonctionnement et la performance d'une entreprise. Nous montrerons ensuite comment les structures internes des organisations productives sont habituellement représentées dans le cadre de l'approche systémique.

1. Structure et régulation

1.1 Identification des structures

L'importance de la structure comme déterminant majeur des performances d'un système a été énoncée par de nombreux auteurs. Citons en particulier J. Peyrega pour qui la structure est "l'élément central expliquant à la fois le fonctionnement et l'évolution du système étudié", et qui en assure la cohésion, la stabilité et la dynamique⁸⁰.

Pour reprendre une définition de J. Piaget⁸¹, "une structure est en première approximation un système de transformations, qui comporte des lois en tant que système (par opposition aux propriétés des éléments) et qui se conserve ou s'enrichit par le jeu même

⁷⁸ M. ALBOUY : *La régulation économique dans l'entreprise*, op. cit., p. 13.

⁷⁹ M. CAPET, G. CAUSSE, J. MEUNIER, *Diagnostic, organisation, planification d'entreprise*, op. cit., p. 58.

⁸⁰ J. PEYREGA : "Vers une analyse cybernétique des systèmes socio-économiques", op. cit., p. 24, cité par M. GIBERT : *L'intégration des systèmes de production*, op. cit., p. 27.

⁸¹ J. PIAGET : *Le structuralisme*, PUF, 1968, p. 7.

de ses transformations (...)"'. Cette idée de lien fondamental entre structure et transformation se retrouve chez J. L. Lemoigne qui décrit une structure à partir du concept de "processeur", entité qui transforme des symboles (information) ou des biens tangibles (matière et énergie)⁸². En entreprise, les actions de ces processeurs correspondent par exemple à la transformation de la matière première, au transport de produits, ou encore au traitement d'informations. Une structure est alors un réseau, matérialisé par des relations entre des processeurs, et menant à des comportements nouveaux ainsi qu'à des effets contre-intuitifs imprévisibles de nature systémique⁸³. Cette approche laisse déjà entrevoir l'importance fondamentale de la forme du réseau, c'est-à-dire de la structure, sur le comportement, donc sur la performance, du système global. A titre d'exemple, l'absence de lien entre deux processeurs successifs de symboles peut provoquer une discontinuité dans une chaîne de traitement de données, entraînant une mauvaise transmission des informations qui nuit à la réactivité du système.

Selon une approche plus sociologique, M. Albouy indique que l'analyse interne d'une entreprise doit conduire à s'interroger sur les relations qui unissent les différents groupes ou individus qui la composent. Pour lui, l'analyse des structures peut en particulier être abordée sous l'angle des relations de commandement et sous l'angle des niveaux de décision et des circuits d'information. Ainsi, "dans toutes les entreprises de quelque importance, la relation de commandement se concrétise par un *organigramme* plus ou moins développé, qui schématise un emboîtement plus ou moins savant de liens hiérarchiques et fonctionnels"⁸⁴. Cet organigramme décrit une structure apparente de l'entreprise, qui est ensuite précisée par une structure réelle se dévoilant lors d'une analyse en terme de niveaux de décision⁸⁵. Cette analyse en terme de niveaux fait en général apparaître les échelons global (ou politique), stratégique, tactique et élémentaire. Une structure fonctionnelle par services (commercial, financier, production, recherche, ...) complète ensuite par un découpage vertical de l'organisation le découpage horizontal en niveaux de décision.

Ce schéma très général sera affiné dans la pratique selon le domaine d'activités : "chaque firme possède un certain nombre de problèmes spécifiques ou essentiels dont dépendent son existence et son développement (...). Pour une entreprise de transport par exemple, les problèmes de stockage et d'approvisionnement sont essentiels : ils apparaîtront

⁸² J. L. LEMOIGNE : *La modélisation des systèmes complexes*, Dunod, 1990, p. 49.

⁸³ *Idem*, p. 50.

⁸⁴ M. ALBOUY : *La régulation économique dans l'entreprise*, op. cit., p. 76.

⁸⁵ *Idem*, p. 78.

au niveau stratégique. Pour les industries pharmaceutiques, les problèmes de recherche sont fondamentaux : ils apparaissent au niveau global. Dans d'autres firmes, ces questions sont secondaires et elles n'apparaissent qu'au niveau tactique ou élémentaire"⁸⁶.

Pour M. Albouy, l'importance relative des différents problèmes crée entre les fonctions une certaine hiérarchie qui ordonne les centres de décision en les situant à différents niveaux. C'est précisément cet ordonnancement des centres de décision, en niveaux et en fonctions qui constitue la *structure réelle de l'entreprise*. Dans ce cadre, l'émergence de nouveaux problèmes entraîne tôt ou tard des modifications de structure. Ainsi, "le développement des ventes et la recherche permanente de nouveaux produits posent nécessairement des problèmes de production et d'équipement. En feignant de les ignorer, l'entreprise complètement orientée sur le produit, porte ces problèmes au niveau le plus élevé. Symétriquement, l'entreprise trop orientée vers la gestion interne s'aperçoit que l'abaissement des coûts de production par les seuls moyens internes a des limites et que seule la conquête de marchés plus vastes permet d'abaisser ces limites. En d'autres termes, chaque structure extrême porte en elle-même les germes de sa propre transformation"⁸⁷. Une structure va donc s'enrichir "par le jeu même de ses transformations" selon la formule de J. Piaget, et selon le processus de type "system design" décrit par J. van Gigch.

Ces adaptations de structure, qui sont assurément essentielles pour le fonctionnement d'une organisation productive, révèlent l'influence permanente de l'environnement économique et social sur la structure interne d'une entreprise. Cette contingence émergeait déjà de la typologie de J. Woodward qui montre notamment les liens entre structure et environnement technologique. Elle observe en particulier que des progrès techniques introduits dans une entreprise induisent des problèmes organisationnels qui sont résolus par des modifications de la structure⁸⁸. T. Burns et G. Stalker ont également observé que la performance d'une structure dépendait de ses capacités à s'adapter aux variations de son environnement. Leurs travaux montrent que les structures qu'ils qualifient de "mécanistes" (Taylor, Fayol, ...) ⁸⁹ conviennent mieux aux environnements stables, tandis que les

⁸⁶ *Ibid.*, p. 81.

⁸⁷ *Ibid.*, p. 83.

⁸⁸ J. WOODWARD : *Industrial organization : Theory and Practice*, Oxford University Press, Second edition, 1980, p. 73.

⁸⁹ Cf. *supra* p. 22.

structures "organiques" dont les règles sont moins formalisées et pour lesquelles les décisions sont plus décentralisées conviennent mieux aux environnements instables⁹⁰.

H. Mintzberg a également développé cette approche en identifiant un ensemble de conditions ou "facteurs de contingences" qui amènent une organisation à "choisir" une certaine classe de structure. Parmi ces facteurs se trouvent quelques aspects de son environnement, en particulier sa stabilité, sa complexité, sa diversité et son hostilité⁹¹. C'est en particulier la perception du facteur de contingence par la direction qui induit pour lui le choix d'un type de structure selon des objectifs d'efficacité⁹². Ainsi la structure d'une organisation productive, comme moyen d'adaptation à l'environnement, apparaît encore une fois ici comme un déterminant majeur de sa performance.

Cependant, la structure, bien que dynamique dans son essence, ne saurait rendre compte à elle seule du comportement d'un système. C'est pourquoi J. L. Lemoigne introduit le concept de "programme" dont le rôle est de définir les relations entre les éléments de la structure (processeurs) afin d'en assurer la coordination. Ainsi, "l'organisation peut être caractérisée par la conjonction "structure-programme" ; la structure en représente la partie constante et le programme la partie variable"⁹³. Ce programme indique en particulier les réglages au sens cybernétique à réaliser pour assurer cette coordination.

Après avoir identifié sur le plan théorique les structures des organisations productives et leur impact fort sur le fonctionnement, nous allons donc aborder cette deuxième composante de l'organisation qu'est la régulation, dans un sens large de programme de coordination.

⁹⁰ T. BURNS et G. STALKER : *The management of innovation*, Tavistock Press, Londres, 1966, cité par R. LAWRENCE et J. LORSCH : *Adapter les structures de l'entreprise : Intégration ou différenciation*, Editions d'organisations, 1973, p. 163.

⁹¹ H. MINTZBERG : *Structure & dynamique des organisations*, Editions d'organisation, 1982, p. 204. Les autres facteurs de contingence sont l'âge et la taille, le système technique, et certaines relations de pouvoir.

⁹² *Idem*, p. 213.

⁹³ J. L. LEMOIGNE : *La théorie du système général (théorie de la modélisation)*, PUF, deuxième édition, 1984, p. 168.

1.2 Régulation

Le problème de la régulation, comme deuxième sujet de préoccupation de la théorie des systèmes après l'identification de la structure, peut se décliner suivant plusieurs questions⁹⁴ :

- Que se passe-t-il lorsqu'un système est abandonné à lui-même ? (problème de régulation libre).
- Peut-on conduire ce système vers des objectifs définis à l'avance ? (problème d'exploration des possibilités de commande).
- Peut-on imaginer une commande optimale ? (problème d'optimisation).
- Quels sont les moyens de contrôler cette action ? (problème de mesure).

Pour M. Albouy, ces questions découlent de la même préoccupation : "Comment un système peut-il parvenir de lui-même ou sous l'influence d'une commande extérieure à sélectionner certaines conduites particulières parmi tout un ensemble de conduites possibles".

Cette sélection, qui correspond pour le système à une perte de variété au sens d'Ashby⁹⁵, est à la base du concept de régulation. Nous allons détailler les principes cybernétiques de mise sous contrôle d'un système, en distinguant dans notre démarche trois niveaux successifs : le passage du contrôle direct à la régulation en boucle fermée, les différents types de régulation (libre, commandée, auto-organisée), et enfin l'équilibration.

Du contrôle direct à la régulation en boucle fermée

Une première solution pour réduire la variété d'un système, donc pour le piloter, est de le mettre sous contrôle selon le schéma suivant⁹⁶ :

⁹⁴ M. ALBOUY, *op. cit.*, p. 16.

⁹⁵ Cf. *supra* p. 35

⁹⁶ J. MELESE, *op. cit.*, p. 58.

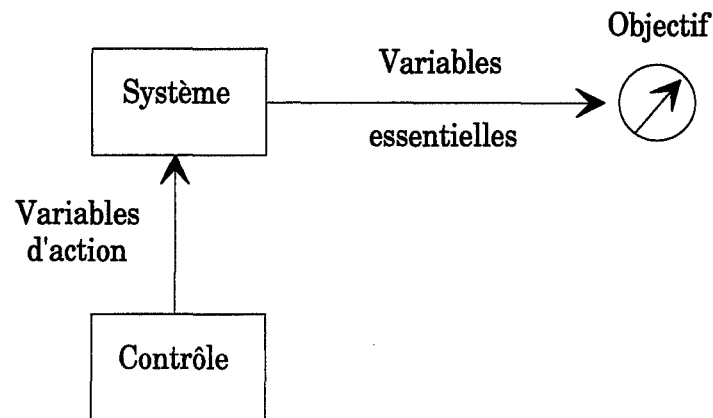


Schéma 2 : Contrôle direct

Dans ce modèle, une unité de contrôle agit sur le système par l'intermédiaire de "variables d'action" et l'amène ainsi dans un état voulu qui correspond à une plage admissible de valeurs mesurées pour les "variables essentielles".

Cependant ce mode de contrôle est pour l'instant non rebouclé. Aussi, si des perturbations extérieures (influence de l'environnement) ou intérieures (système non stationnaire dans le temps) modifient le comportement du système vis-à-vis des variables d'action, l'objectif repéré par les variables essentielles ne sera plus atteint. Le système devient alors incontrôlable.

La solution pour garder le contrôle d'un système malgré la présence de perturbations internes ou externes est de donner à l'unité de contrôle des informations permanentes sur l'écart entre la valeur des variables essentielles et l'objectif visé. Ce retour d'information, ou rebouclage est à la base du concept d'asservissement en cybernétique.

L'ajout d'un rebouclage sur le schéma précédent donne donc le modèle suivant dans lequel nous appelons régulateur, et non plus contrôle, l'unité informée de l'écart entre la valeur des variables essentielles et l'objectif, et qui est chargée d'agir sur le système par l'intermédiaire des variables d'action :

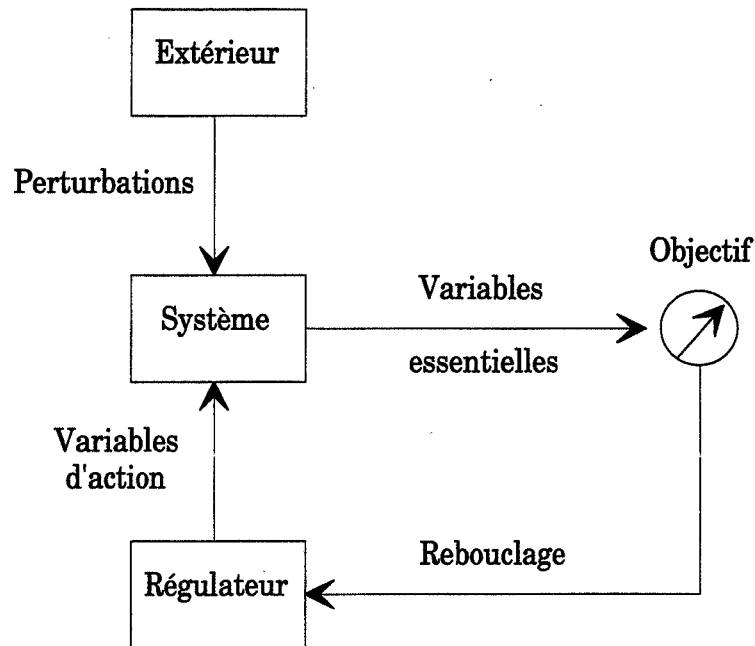


Schéma 3 : Contrôle en boucle fermée

Il faut ainsi quatre éléments de base pour permettre le contrôle d'un système en boucle fermée :

- une caractéristique à contrôler,
- un dispositif de mesure,
- une unité qui compare la mesure et la consigne, et en déduit des actions correctrices,
- un mécanisme qui exécute ces actions correctrices sur le système.

Ces quatre éléments se retrouveront dans le contrôle en boucle fermée d'un système de production⁹⁷.

Régulation libre, commandée et auto-organisatrice

La régulation au sens général est bien davantage que la simple notion d'asservissement et de boucle fermée. De façon plus globale, on peut ainsi étendre le concept de régulation aux trois familles suivantes⁹⁸ :

⁹⁷ L'application de ce mécanisme à des situations de gestion se retrouve par exemple dans R. JOHNSON, F. KAST, J. ROSENZWEIG : *Théorie, conception et gestion des systèmes*, Dunod, 1970, p. 76.

- la *régulation libre* ou auto-régulation, lorsque le mécanisme de sélection paraît spontané et que l'on ne peut repérer aucun organe de commande,
- la *régulation commandée*, lorsque la réduction de variété est obtenue au moyen d'un ou plusieurs organes de commande parfaitement identifiés,
- la *régulation auto-organisatrice*, lorsque la sélection s'effectue sur la structure même du système et sur les organes de commande.

Régulation libre :

La régulation libre se met en place lors de la formation d'un système par agrégation d'un certain nombre d'éléments. En effet, ces éléments n'étant pas indépendants, des relations donc des contraintes apparaissent entre eux, ce qui diminue la variété des états possibles du système global.

Cette réduction de variété s'apparente à une régulation spontanée et non reliée à un objectif global désigné du système. Elle correspond par exemple dans une organisation productive aux antagonismes entre personnes qui conditionnent les rapports quotidiens, ou encore aux habitudes de travail provenant d'adaptations aux conditions de fonctionnement d'une machine (bruit, cadence, ...). Ces "régulations locales" sont en fait omniprésentes dans les organisations humaines.

Régulation commandée :

La régulation commandée, au contraire de la régulation libre, est a priori reliée aux objectifs du système global dont elle assure le contrôle. Elle est représentable en première approche par le schéma précédent comportant un régulateur en boucle fermée.

Cependant, lorsque les perturbations sur le système sont importantes, le régulateur n'est pas toujours capable d'assurer le maintien des valeurs des variables essentielles dans les plages d'objectifs. Cela amène R. Ashby⁹⁹ à proposer une forme générale plus complète qu'il nomme "ultra-stable" :

⁹⁸ M. ALBOUY, *op. cit.*, p. 23.

⁹⁹ Schéma adapté de R. ASHBY : *Design for brain*, Chapman and Hall, 1960.

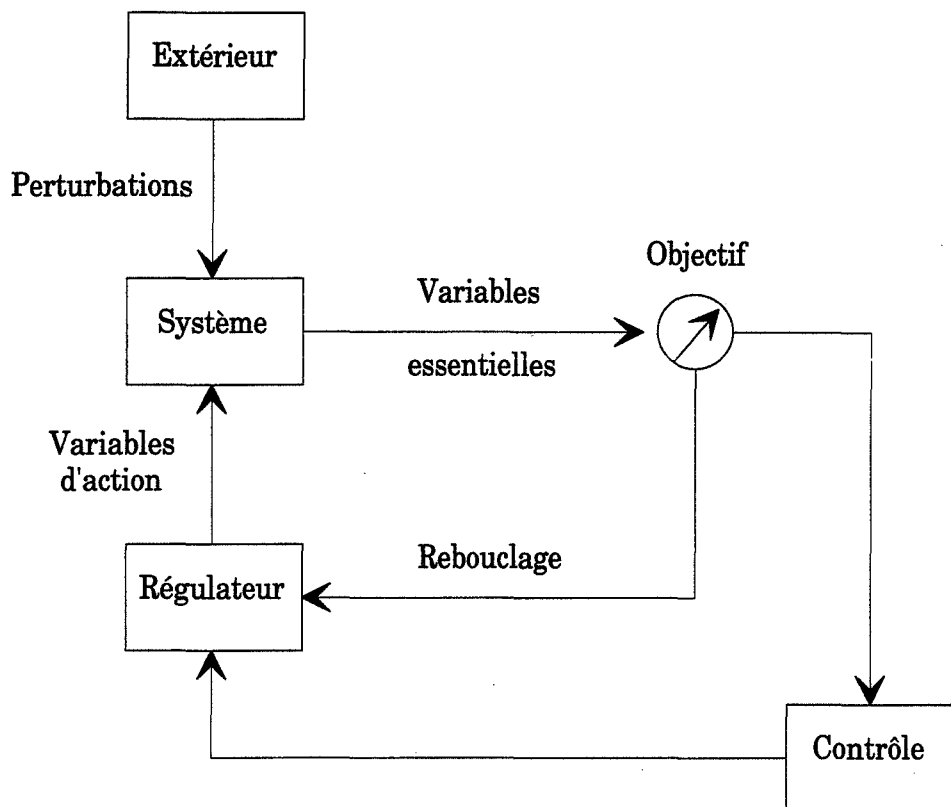


Schéma 4 : Régulation ultra-stable

Selon ce modèle, une entité de contrôle vérifie l'écart entre l'état du système et l'objectif. Si le régulateur ne parvient pas à atteindre l'objectif, le contrôle agit sur les paramètres du régulateur afin d'améliorer son efficacité, jusqu'à ce que l'objectif soit atteint à nouveau. Entre deux actions de contrôle, le régulateur fonctionne normalement. Ce système est appelé "ultra-stable" car il est géré par deux niveaux de pilotage : en premier niveau le régulateur assure au quotidien la stabilité vis-à-vis des perturbations extérieures, et en second niveau le contrôle intervient pour modifier le régulateur lorsque celui-ci ne parvient plus à stabiliser le système. Nous retrouvons ici sous la forme d'une entité de contrôle le concept de "programme" de J. L. Lemoigne dont nous avons parlé plus haut et dont le rôle était de définir les réglages au sens cybernétique pour assurer la coordination du système. Notons que ces réglages peuvent prendre différentes formes : il peut s'agir de modifications simples (ajustement d'objectif local, réglage d'une machine, ...) comme il peut s'agir de modifications structurelles plus profondes (restructuration de l'organigramme, réimplantation des machines, changement de système d'information, ...).

Régulation auto-organisatrice :

Lorsque la sélection s'effectue ainsi sur la structure du système et par le système lui-même, alors nous passons selon la classification de M. Albouy dans un modèle de régulation auto-organisatrice. Cet auteur y distingue trois principes de base¹⁰⁰ :

- la remise en cause et la réorganisation du circuit d'information,
- l'adaptation permanente de la régulation aux évolutions de structure du système,
- l'auto-apprentissage menant au choix du mode de régulation.

Nous reviendrons plus loin¹⁰¹ sur la portée de ce concept de régulation auto-organisatrice. Notons simplement dès à présent que ces processus de réorganisation nous semblent fondamentalement différents dans leur nature s'ils sont commandés depuis le haut de la hiérarchie ou bien s'ils prennent naissance au niveau même où ils s'appliquent. Dans le second cas seulement, nous pourrions effectivement parler de régulation auto-organisatrice. En d'autres termes et pour reprendre le schéma précédent, cela posera la question du degré de différenciation entre les entités de régulation et de contrôle, et nous renverra sur le concept d'autonomie.

Equilibration

Enfin, et de façon plus générale, J. L. Lemoigne regroupe ces notions de régulation et d'évolution dans un concept global d'*équibration*¹⁰² qui rend compte de la recherche d'équilibres permettant au système de résister aux perturbations provenant de l'environnement. L'équibration peut prendre trois formes :

- lorsque les objectifs du système sont stables et que l'environnement n'est pas changeant, l'équibration prend la forme d'une régulation simple rebouclée selon l'exemple du schéma 3 ;
- lorsque les objectifs sont stables mais que la relation avec l'environnement est changeante, il faut pouvoir modifier les programmes, à structure constante, et l'équibration s'effectue alors selon le modèle ultra-stable du schéma 4 ;

¹⁰⁰ M. ALBOUY, *op. cit.*, p. 56.

¹⁰¹ Cf. *infra.*, Chapitre 4, section 3, 1.1.

¹⁰² J. L. LEMOIGNE : *La théorie du système général*, *op. cit.*, p. 150 et suivantes.

- lorsque le système modifie ses projets, mais reste dans une relation stable avec l'environnement, il doit modifier sa structure en conséquence, notamment par importation de nouvelles ressources de structures pour répondre aux objectifs nouveaux.

Le cas le plus complexe correspond au système qui modifie ses projets dans le cadre d'un rapport changeant avec l'environnement. Il ne s'agit alors plus d'équilibration mais d'évolution structurelle, qui peut se décrire selon les concepts de *différenciation et d'intégration*. En effet, pour R. Lawrence et J. Lorsch, "les organisations font face à l'environnement en se fractionnant en unités, de façon telle que chacune d'elle a pour principale tâche de traiter une partie des conditions externes à l'entreprise. C'est la conséquence du fait que chaque groupe de dirigeants a une zone d'action limitée, chacun ayant la capacité de traiter seulement une portion de l'environnement"¹⁰³. Ce fractionnement est rendu nécessaire par la croissance de l'entreprise, par la modification de ses projets et par l'évolution de ses rapports à l'environnement. Il s'ajoute à ce fractionnement des différences d'attitudes et de comportements induites par la spécialisation par métier, que R. Lawrence et J. Lorsch regroupent avec le fractionnement dans un concept global de différenciation¹⁰⁴. D'autre part, "ces différentes parties du système doivent être liées pour que les objectifs de l'organisation soient atteints". Aussi, face à ces besoins de différenciation apparaissent des nécessités d'intégration au sens de la "qualité de la collaboration qui existe entre des départements qui doivent unir leurs efforts pour satisfaire aux demandes de l'environnement"¹⁰⁵. Ces auteurs ont trouvé à l'issue d'enquêtes en entreprises des relations fondamentales entre les variables externes (l'incertitude, la diversité, et la nature des contraintes de l'environnement) et les états internes de différenciation et d'intégration¹⁰⁶, proposant ainsi une théorie contingente de l'organisation. Il est dès lors possible de considérer les actions de différenciation et d'intégration comme des modes de réponses d'organisations productives confrontées à des projets évolutifs dans un environnement changeant. Ce concept fait donc partie des possibilités de régulation, dans un sens large de programme de coordination, et nous l'utiliserons dans la suite de notre démarche.

¹⁰³ R. LAWRENCE et J. LORSCH : *Adapter les structures de l'entreprise : Intégration ou différenciation*, op. cit., p. 20.

¹⁰⁴ *Idem*, p. 21.

¹⁰⁵ *Ibid.*, p. 23.

¹⁰⁶ *Ibid.*, p. 139.

Après avoir précisé les concepts de structure et de régulation, éléments clefs de l'approche cybernétique, nous allons aborder la description de quelques modèles classiques de représentation des organisations productives. Nous verrons que ces modèles traditionnels renvoient essentiellement à la branche cybernétique de la science des systèmes.

2. Représentations

Les premières descriptions traditionnelles d'organisations productives que nous avons proposées au début de ce chapitre (Taylor, Fayol, Gulick, Urwick, ...) correspondaient essentiellement à des préoccupations d'analyse et de répartition des tâches. Pour R. Lawrence et J. Lorsch, ces auteurs "ont commis une erreur fondamentale en ignorant les propriétés systémiques des organisations"¹⁰⁷. En particulier ces partitions n'accordaient que peu d'importance aux relations entre les différents composants c'est-à-dire à l'aspect "physiologique"¹⁰⁸. Aussi, d'autres modèles de représentation de nature plus systémique ont été définis, et qui intègrent notamment dans leurs structures les concepts de régulation que nous venons d'aborder. Nous décrirons quelques uns de ces modèles après avoir analysé deux concepts de base qui les sous-tendent : la hiérarchie et la décision.

2.1 Hiérarchie et décision dans les organisations

Nous avons déjà indiqué que l'analyse d'une organisation pouvait être abordée sous l'angle des relations de commandement et sous l'angle des niveaux de décision¹⁰⁹, et que l'emboîtement de liens hiérarchiques et fonctionnels s'associait aux phénomènes de prise de décision pour former la structure réelle d'une entreprise.

Pour H. Simon, la hiérarchie est un élément incontournable d'une organisation : "comme la structure hiérarchique n'est apparemment absente d'aucun système complexe, il y a lieu de croire que ce principe structural fondamental est indépendant des organisations humaines particulières... Tout laisse penser que chaque système, à partir d'un stade de complexité donné, ne peut se passer de cette structure en moyens successifs que l'on

¹⁰⁷ R. LAWRENCE et J. LORSCH, *op. cit.*, p. 20.

¹⁰⁸ Voir *supra* p. 25.

¹⁰⁹ M. ALBOUY, *Cf. supra*, p. 43.

retrouve dans les organisations humaines. Le besoin de hiérarchie dépasse celui de l'unité de commandement ou tout autre raison fondée sur des problèmes d'autorité"¹¹⁰.

Le concept de hiérarchie en systémique est naturellement bien plus large que la simple notion d'organigramme. Il rend compte de la décomposition d'un système en sous-systèmes, avec droit d'intervention du système supérieur sur le système inférieur, et influence du comportement du système inférieur sur la performance du système supérieur. Du point de vue cybernétique, cette structure est expliquée par la nécessité de stabiliser le système vis-à-vis des perturbations par emboîtement de boucles rétroactives permettant des régulations de type ultra-stable comme sur le schéma 3. Dans ce cadre, la fréquence de commande diminue, les temps de réponses s'accroissent et la collecte d'information se fait sur des périodes de plus en plus longues au fur et à mesure que l'on s'élève dans la hiérarchie. Ainsi, les niveaux supérieurs ne perçoivent pas les problèmes de base secondaires et fréquents qui nécessitent des interventions rapides.

Le traitement local de ces problèmes secondaires implique une certaine latitude décisionnelle laissée aux niveaux inférieurs. Autrement dit, "la variété de chaque sous-système, à chaque niveau, doit être absorbée localement pour ne pas être répercutée au niveau supérieur qui serait incapable de la contrôler"¹¹¹. Ce phénomène d'absorption d'information à chaque niveau, et donc de réduction d'incertitude, évite ainsi l'encombrement et la saturation des niveaux supérieurs. Une hiérarchie formelle extrême, inspirée de l'école mécaniste, qui considérerait selon la classification de J. March et H. Simon¹¹² les membres de l'organisation comme des instruments passifs capables seulement d'assumer un travail et de recevoir des directives, ne serait donc pas efficace en environnement très instable, selon l'approche cybernétique, pour stabiliser le fonctionnement d'une organisation. En présence de perturbations, l'impossibilité de prendre des décisions, c'est-à-dire de pratiquer une régulation locale, obligerait chaque membre à remonter l'information, saturant ainsi le niveau le plus élevé.

La structuration hiérarchique pose cependant des problèmes de coordination entre les sous-systèmes et le système englobant. En particulier, puisque le comportement du système inférieur se répercute sur la performance du système supérieur, celui-ci doit utiliser son droit

¹¹⁰ H. SIMON : *The new science of management decision*, Harper & Row, 1960, p. 10.

¹¹¹ J. MELESE, *op. cit.*, p. 73.

¹¹² Cf. *supra*, p. 18.

d'intervention pour fixer des objectifs locaux coordonnés avec ses objectifs globaux. Nous reviendrons plus loin sur les difficultés de hiérarchisation de ces objectifs.

Enfin, la structuration hiérarchique est un des moyens, mais pas le seul, qui permet l'intégration nécessaire pour équilibrer la différenciation, au sens de R. Lawrence et J. Lorsch. Ce moyen est très utilisé dans les modèles qui suivent.

Le second élément qui forme la structure réelle de l'entreprise est la prise de décision. Pour l'aborder, nous utiliserons la double approche de J. L. Lemoigne¹¹³ qui en propose une classification par niveau puis une classification par méthode.

Classification par niveau

La classification par niveau s'inspire de la pyramide hiérarchique traditionnelle dans les organisations, et décompose les décisions selon un sens décroissant d'importance. R. Anthony distingue ainsi les niveaux stratégique, administratif et opérationnel¹¹⁴. Au niveau stratégique se retrouvent les décisions du sommet de la pyramide qui portent par exemple sur le choix des produits que l'entreprise fera et des marchés où elle vendra. Les décisions administratives servent à la gestion des ressources en vue d'obtenir les meilleurs résultats possibles. Enfin, les décisions opérationnelles ont pour but d'obtenir de l'exploitation courante le maximum de profit¹¹⁵. Remarquons que conformément à l'approche théorique cybernétique, l'horizon temporel de l'effet des décisions s'allonge, les temps de réponses s'accroissent et la collecte d'information se fait sur des périodes de plus en plus longues au fur et à mesure que l'on s'élève dans la hiérarchie.

Classification par méthode

La classification par méthode provient des recherches entreprises par H. Simon sur la façon dont les responsables prennent des décisions. Elles l'amènent à distinguer les deux pôles que sont les décisions programmées et les décisions non programmées, et à montrer que la réalité correspond à un continuum situé entre ces deux extrêmes¹¹⁶. Une décision est dite "programmée" lorsque peut être formulé a priori "l'ensemble des prescriptions ou

¹¹³ J. L. LEMOIGNE : *Les systèmes de décision dans les organisations*, PUF, 1974, p. 62.

¹¹⁴ R. ANTHONY : *Planning and control systems : A framework for analysis*, Harvard University Press, 1965.

¹¹⁵ *Idem*, p. 29.

¹¹⁶ H. SIMON : *The new science of management decision*, Harper & Row publishers, 1960, p. 5.

stratégies qui définiront la séquence des réponses du système considéré à un environnement plus ou moins complexe", ce qui correspond aux "décisions répétitives, de routine, pour lesquelles on dispose d'une procédure définie"¹¹⁷. Une décision non programmée au contraire est non structurée et dépendante des conditions qui la nécessitent.

J. Mélése propose une classification du même type mais est plus catégorique : il estime que le résultat d'un programme de régulation ou de contrôle au sens d'un ensemble d'instructions est une *action* et non une décision. Pour lui et par définition, dès qu'il y a un programme (dont le déroulement peut être confié à un homme comme à une machine), il n'y a plus de décision¹¹⁸. A l'opposé de ces décisions programmées, il définit donc "la décision comme le comportement qui consiste à effectuer un choix en information incomplète", l'absence d'information pouvant porter sur "les données, le modèle, les critères de jugement ou les actions possibles"¹¹⁹.

La décision selon J. Mélése, ou encore la décision non programmée selon H. Simon, a encore été décomposée par G. Gory et M. Scott Morton qui ont créé une zone intermédiaire désignée "décision structurée"¹²⁰. Ces décisions structurées correspondent au cas où, bien que l'information ne soit pas complète, "le décideur sait qu'il peut faire appel à un certain nombre d'algorithmes, de structures de raisonnement, qui seront susceptibles de l'aider grandement à avancer dans la phase de résolution. La plupart des modèles utilisés en simulation de gestion contribuent à jouer ce rôle structurant dans la technique de décision"¹²¹. Il reste ensuite le domaine des "décisions non structurées" ou faiblement structurées pour lesquelles la multiplicité des critères à prendre en compte peut décourager la formalisation. La décision peut à "l'extrême limite y devenir irrationnelle ou injustifiable"¹²².

L'appel à la rationalité lors d'une prise de décision dépend ainsi de la situation informationnelle dans laquelle le décideur se trouve. Dans le cadre d'une hypothèse de

¹¹⁷ H. SIMON, *op. cit.*, p. 6.

¹¹⁸ J. MELESE : *L'analyse modulaire des systèmes*, *op. cit.*, p. 75.

¹¹⁹ *Idem.*

¹²⁰ G. GORY et M. SCOTT MORTON : *A framework for management information systems*, Sloan management review, 1971, cité par J. L. LEMOIGNE, *op. cit.*, p. 71.

¹²¹ J. L. LEMOIGNE, *op. cit.*, p. 71.

¹²² *Idem.*

rationalité absolue, l'homme rationnel des théories économiques accomplit des choix "optimaux" au sein d'un milieu hautement spécifié et nettement défini¹²³ :

- il doit au départ avoir connaissance de l'ensemble complet des possibilités de choix,
- il sait quelle série de conséquences s'attache à chaque possibilité de choix,
- il possède une fonction de valeur d'usage ou un ordre de préférence qui classe toutes les séries de conséquences,
- il sélectionne par sa décision les choix qui conduisent à l'ensemble de conséquences qu'il préfère.

Cependant, dans la plupart des cas, le choix s'effectue dans un contexte d'information incomplète. En conséquence, le décideur n'a pas la connaissance totale des possibilités de choix. De plus, les conséquences attachées à chaque possibilité de choix ne sont pas toujours certaines, mais parfois risquées ou même totalement incertaines. Aussi, pour J. March et H. Simon, le choix est toujours exercé au regard d'un schéma simplifié, limité et approximatif de la situation réelle, et les éléments mêmes de ce schéma ne sont pas des données mais le produit de processus psychologiques et sociologiques, comprenant les activités propres de celui qui choisit et celles des autres dans son milieu¹²⁴. Aussi ils opposent le choix optimal de la théorie économique à un choix *satisfaisant*. Un choix sera dit optimal s'il existe un ensemble de critères qui permettent de comparer tous les choix, et si le choix en question est préféré de par ces critères à tous les autres. Un choix sera dit satisfaisant s'il existe un ensemble de critères qui décrivent les minima des choix satisfaisants et si le choix en question satisfait ou dépasse tous ces critères¹²⁵.

Dans la réalité, "la plupart des prises de décisions humaines, individuelles ou organisationnelles se rapportent à la découverte et à la sélection de choix satisfaisants". Ce contexte de prise de décision est qualifié de rationalité limitée ou procédurale, par opposition à la rationalité absolue ou substantive.

A ce stade, la classification des décisions est résumée par le tableau suivant :

¹²³ J. MARCH et H. SIMON : *Les organisations*, op. cit., p. 135.

¹²⁴ *Idem*, p. 137.

¹²⁵ *Ibid.*, p. 138.

Décision	programmée	structurée	non structurée
Rationalité	substantive		procédurale
Information	parfaite		limitée
Caractéristiques	action, routine	structures de raisonnement	critères multiples et formalisation difficile

Tableau 1 : Classification des décisions

Enfin, précisant davantage la typologie des décisions, G. Gory et M. Scott Morton ont proposé la synthèse de la classification par niveau et de la classification par méthode. Le croisement des niveaux stratégique, administratif et opérationnel, avec les catégories programmée, structurée et non structurée donne ainsi neuf classes possibles de décisions. On retrouvera par exemple dans la classe "opérationnel programmable" les opérations de comptabilité, de tenu de stock ou de suivi des coûts, dans la classe "administratif structurée" les décisions de sous-traitance et dans la classe "stratégique non structuré" le lancement de nouveaux produits. Les autres classes sont traditionnellement moins citées dans les modèles hiérarchisés d'organisations productives. En particulier, la classe "opérationnel non structuré" correspond à des décisions d'exploitation courante, non formalisées en raison de la multiplicité des critères à prendre en compte. Elle renvoie à une rationalité procédurale en situation d'autonomie, et nous l'utiliserons plus loin dans notre étude¹²⁶.

La définition du cadre théorique de la hiérarchie et de la décision nous permet d'aborder à présent quelques modèles classiques de représentation des structures internes des systèmes de production.

2.2 Modèles classiques de représentation

Nous avons vu que les descriptions traditionnelles des systèmes de production étaient centrées sur une approche à la fois fonctionnelle et analytique. La décomposition proposée par H. Fayol en est un exemple. Elle décrit les différents services qui se partagent les

¹²⁶ Cf. *infra*, Chapitre 4.

opérations possibles en entreprise, depuis les opérations techniques et jusqu'aux opérations administratives¹²⁷.

L'approche systémique aborde au contraire la question de la représentation des organisations productives selon une vision plus transversale. Au lieu de décomposer la structure par fonctions à la manière d'un organigramme, elle s'intéresse à l'existence de différents sous-systèmes logiques et à leurs interactions. Dans le cas d'une entreprise industrielle, l'approche systémique retient très fréquemment les sous-systèmes suivants¹²⁸ :

- un système physique ou système technologique,
- un système de décision ou de pilotage,
- un système d'information.

Le système physique regroupe l'ensemble des moyens de production et des moyens de manutention. Il est traversé par le "flux de matière" que forment les produits en cours de fabrication.

Le système de décision est constitué de l'ensemble des éléments et relations qui effectuent le contrôle et la régulation des transformations du système technologique. Il agit donc sur le flux physique par des décisions programmées (ou routines, ou actions), ainsi qu'en situation d'information incomplète par des décisions structurées et non structurées.

Le système d'information peut se définir comme "l'ensemble des moyens et des communications qui assurent la saisie, la mesure, le contrôle, le stockage, le traitement et la distribution des informations"¹²⁹.

Certains auteurs développent la description au delà des systèmes physique, décisionnel et informationnel. Ainsi, dans une optique plus cybernétique de pilotage, M. Albouy décrit la structure générale d'un modèle de commande à partir des éléments suivants¹³⁰ :

¹²⁷ Cf. *supra*, p. 22.

¹²⁸ Cf. par exemple J. MELESE : *L'analyse modulaire des systèmes*, op. cit., p. 30. Il ajoute p. 41 que l'imbrication de ces trois systèmes ne représente pas le système total entreprise car celui-ci contient également des relations essentielles sociales, de pouvoir et d'influence.

¹²⁹ *Idem*, p. 37.

¹³⁰ M. ALBOUY : *La régulation économique dans l'entreprise*, op. cit., p. 101.

- une structure d'information,
- un ou plusieurs centres de décision,
- un système sur lequel on se propose d'agir,
- un environnement.

Par rapport à la représentation précédente, nous retrouvons le système d'information, le système de décision, et le système physique considéré dans un cadre plus générique. A ces trois systèmes est ajouté ici l'environnement qui perturbe la stabilité du système à contrôler, et justifie la présence de régulateurs inclus dans les systèmes d'information et de décision.

Notons que dans l'approche cybernétique, il est généralement admis que la connaissance que le système possède sur lui-même est parfaite, c'est-à-dire que le système d'information décrit fidèlement le système sur lequel on se propose d'agir¹³¹. En revanche, le réseau d'information sur l'environnement peut amener des connaissances plus ou moins complètes, ainsi que des perturbations déstabilisantes.

Cette extension de la représentation de base vers l'environnement extérieur, peut également être complétée par des extensions internes. P. Lorino introduit ainsi un niveau humain pour bien prendre en considération les effets de relations et de motivations à l'intérieur du système, et décrit ainsi une organisation productive selon quatre niveaux¹³² :

- un niveau physique : les équipements, la technique, les flux de matières et d'objets, l'espace et son agencement ;
- un niveau informationnel : la collecte, le stockage, la circulation, le traitement des informations, les réseaux de communication ;
- un niveau décisionnel : le système de gestion, avec les processus décisionnels, les pouvoirs et les responsabilités, les règles de décision ;
- un niveau humain : les effectifs, les qualifications, les procédures et les systèmes destinés à gérer les ressources humaines et à induire les motivations.

Dans une approche strictement cybernétique, la composante humaine peut cependant être considérée comme un système particulier de traitement de l'information et comme un

¹³¹ Dans le cas contraire, l'approche cybernétique prend en compte l'existence d'un "bruit d'observation" considéré comme négatif et devant être traité lors d'un processus d'identification. Ce contexte d'information parfaite sera utilisé au chapitre suivant dans le cadre de la théorie micro-économique classique.

¹³² P. LORINO, *op. cit.*, p. 29.

moyen particulier de production et de manutention. Elle pourrait donc à ce titre être intégrée pour partie dans les systèmes d'information et de décision, et pour partie dans le système physique. Nous verrons que ce type de distinction n'est pas neutre quant à la façon d'interpréter les comportements d'un système de production, et qu'il renvoie à l'importance accordée au facteur organisationnel comme déterminant de la performance d'une organisation. Nous verrons également qu'il renvoie au choix entre un point de vue cybernétique et un point de vue cognitiviste pour l'interprétation des processus de prise de décision.

Ce type de distinction se retrouve également dans la représentation des interactions entre les différents systèmes. Selon une vision cybernétique, le système d'information a pour rôle d'assurer la liaison entre le système de décision et le système physique. Il joue alors le rôle d'un dispositif de mesure qui collecte les informations sur le système à contrôler et qui envoie en retour les ordres issus des régulateurs :

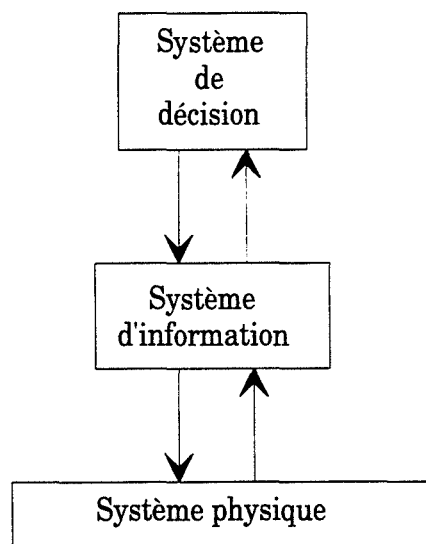


Schéma 5 : Représentation cybernétique de l'entreprise en trois sous-systèmes

Le modèle GRAI¹³³, que nous détaillerons davantage au chapitre 5, propose une vision un peu différente de la position du système d'information, en ce sens qu'il ne se trouve

¹³³ GRAI signifie à la fois Groupe de Recherche en Automatisation Intégrée, et Graphes à Résultats et Activités Inter-reliés.

plus exactement à l'interface entre le système physique et le système décisionnel, mais en parallèle avec celui-ci¹³⁴ :

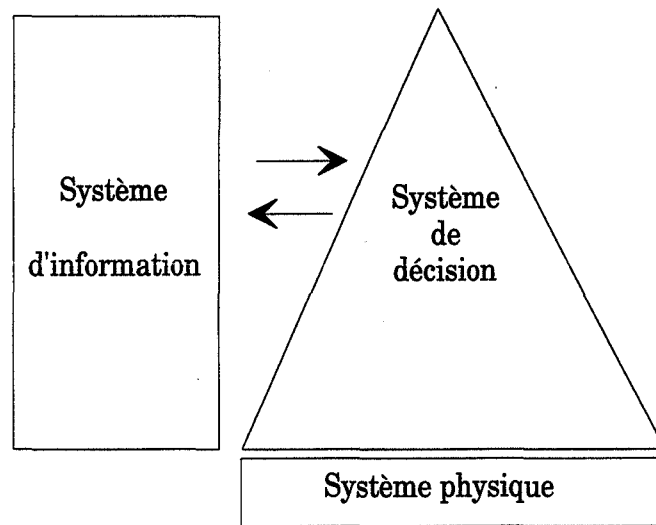


Schéma 6 : Modèle GRAI

Nous notons toutefois que le système d'information reste distinct du système de décision, même si celui-ci s'y alimente en permanence pour fonctionner.

Dans cette représentation et dans la précédente, le système d'information est considéré comme un instrument ajouté à l'organisation pour améliorer son efficacité : "un système d'information est un artefact, un objet artificiel, greffé sur un objet naturel qui peut être une organisation. Il est conçu pour mémoriser un ensemble d'images de l'objet réel à différents moments de sa vie ; ces images doivent être accessibles par les partenaires de l'organisation qui s'en servent pour décider des actions à entreprendre dans les meilleures conditions. Un système d'information est, en quelque sorte, une extension de la mémoire humaine, qui amplifie le pouvoir de mémorisation des acteurs de l'organisation et facilite leur prise de décision"¹³⁵. Dans cette approche, le système d'information est en général assimilé au système informatique : "les techniques de mémorisation, de traitement, d'accès et de

¹³⁴ D'après *La méthode GRAI*, document du laboratoire GRAI / LAP, non daté, p. 10.

¹³⁵ C. ROLLAND : "Introduction à la conception des systèmes d'information et panorama des méthodes disponibles", in *Génie Logiciel*, n° 4, 1986, p. 7.

communication des images utilisées pour construire les systèmes d'information sont aujourd'hui celles de l'informatique et de la télématique"¹³⁶.

Une autre approche, qui nous amène vers une information plus répartie, consiste à regrouper dans le concept de système d'information à la fois l'instrument de la définition précédente et l'ensemble des informations issues du système physique et des composantes humaines. Cela revient à placer le système d'information comme toile de fond continue du système de décision et du système physique, selon le schéma suivant¹³⁷ :

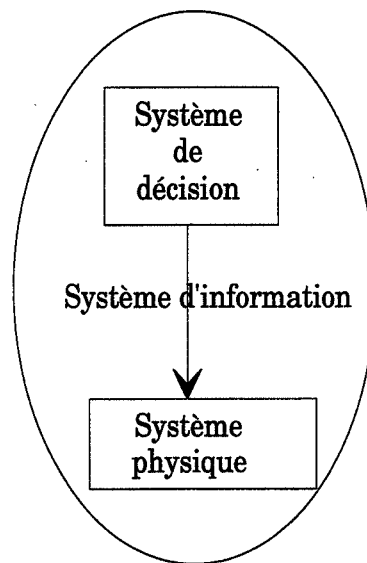


Schéma 7 : Sous-système d'information réparti

Nous remarquons cependant que la décision est dans ce modèle séparée du système physique, et qu'elle reste centralisée, au moins dans sa représentation. Cette vision renvoie donc toujours à une approche cybernétique de contrôle d'un système physique par un organe de décision.

Nous noterons enfin pour la suite que cette approche cybernétique de contrôle d'un module physique par un module de décision, très présente dans les représentations

¹³⁶ *Idem.*

¹³⁷ H. PIERREVAL : *Les méthodes d'analyse et de conception des systèmes de production*, Hermes, 1990, p. 10.

systemiques de l'entreprise, est en forte correspondance avec la vision de la firme donnée par la théorie néoclassique. En effet, et comme le notent H. Gabrié et J. L. Jacquier, "la firme, dans la version standard de la théorie néoclassique est entièrement définie par un double point de vue : technologique (en tant que centre de production) et économique (en tant que centre de décision)"¹³⁸. Nous retrouverons donc dans le chapitre suivant des représentations basées sur la distinction entre module physique d'une part et module de décision d'autre part, mais dans lesquelles l'information est considérée comme parfaite, au point de ne pas même être représentée.

¹³⁸ H. GABRIÉ et J. L. JACQUIER : *La théorie moderne de l'entreprise*, Economica, 1994, p. 19.

Nous avons présenté dans ce chapitre les principaux concepts attachés à la notion d'organisation productive, et nous avons décrit comment l'interprétation économique de ces organisations renvoyait à la complémentarité des approches analytique et systémique. Nous y avons en particulier adopté une démarche systémique associée au modèle cybernétique centré sur les concepts de commande et de hiérarchie, attachée aux paradigmes mécaniste et biologiste, et menant à des modèles de représentation fondés sur les principes de régulation et de centralisation de l'information et de la décision.

Nous allons développer dans le second chapitre les modèles associés à la vision cybernétique de l'approche systémique que sont la description micro-économique néoclassique, le calcul économique utilisé comme outil d'aide à la décision en entreprise, et les modèles normatifs du contrôle de gestion classique. Nous montrerons à quel contexte économique ces modèles sont adaptés et comment ils risquent d'atteindre leurs limites en cas d'évolution de l'environnement des organisations qu'ils décrivent.

CHAPITRE 2 : CALCUL ECONOMIQUE ET MODELES DE GESTION

Nous allons approfondir les représentations des organisations productives selon la vision économique néoclassique et selon l'approche du contrôle de gestion traditionnel. Dans la première section, nous analyserons la façon dont la prise de décision est modélisée en micro-économie néoclassique, et nous montrerons le peu de place qui est traditionnellement laissé à l'aspect organisationnel, notamment dans l'interprétation essentiellement exogène du progrès technique et des innovations. Nous préciserons également dans quelle mesure la logique de progrès liée à un processus de substitution du capital au travail, est immergée dans un contexte d'information parfaite et de rationalité substantive.

Dans une seconde section, nous développerons le calcul de fonctionnement et le calcul d'architecture classiquement utilisés dans les organisations productives comme outils d'aide à la décision. Nous montrerons que ces outils sont très centrés sur le calcul des coûts et sur la recherche de productivité au niveau physique. Nous montrerons également que cette instrumentation analytique est parfois difficile à mettre en oeuvre, notamment en raison de sa sensibilité à des paramètres de départ qui doivent être estimés dans un contexte d'information limitée.

Pourtant, ce calcul économique existe au quotidien dans les entreprises, et structure les organisations au point de s'ériger en modèle. C'est pourquoi nous développerons dans une troisième section les principes classiques du contrôle de gestion, et nous montrerons l'importance qui y est accordée à la norme et au standard. Cette présentation des outils normatifs d'aide à la décision nous renverra aux modèles de contrôle cybernétique en boucle fermée décrits au chapitre précédent. Nous montrerons comment ces outils structurent les organisations productives traditionnelles et permettent le pilotage d'un système à travers un contrôle hiérarchique fort, et une déclinaison permanente d'objectifs normatifs. Nous exposerons pour cela deux structures classiques d'information et de décision en entreprise. Le premier sera un modèle de gestion de production fréquemment utilisé pour répondre à la

problématique de la répartition et de l'allocation de biens économiques. Le second sera un modèle organisationnel décomposant l'entreprise en fonctions. Nous verrons que ces deux modèles procèdent d'approches statiques comparatives qui conviennent bien à un environnement stable.

SECTION 1 : L'APPROCHE ECONOMIQUE NEOCLASSIQUE

Nous allons à présent préciser la vision économique néoclassique des organisations productives. Le courant classique (A. Smith, J. B. Say, T. R. Malthus, D. Ricardo, J.S. Mill, ...) mettait l'accent sur l'accumulation de capital dans une logique de croissance économique, étudiant les effets des variations, en quantité et en qualité, de la force de travail sur le taux de croissance du produit total¹. Le concept d'entreprise a été intégré dans l'explication de l'affectation de ressources rares lorsque le champ des investigations s'est étendu depuis les activités d'échanges et de consommation vers celles de la production². En particulier, la révolution marginaliste issue des travaux simultanés de Jevons, Menger et Walras sur les concepts d'utilité marginale a posé le problème économique comme la recherche des conditions permettant d'affecter de façon optimale des facteurs productifs donnés. La recherche d'équilibre général, issu de l'ajustement entre l'offre et la demande et obtenu par l'intermédiaire des prix, place cette approche dans un cadre essentiellement statique³ : si une perturbation, en particulier exogène, c'est-à-dire extérieure au champ économique, amène un désajustement transitoire, les mécanismes régulateurs assureront un retour à l'équilibre par le jeu de la variation des prix relatifs. Nous allons détailler dans un premier temps les mécanismes fondamentaux de la théorie micro-économique néoclassique. Nous développerons ensuite en seconde partie de cette section quelques remarques concernant les hypothèses de base sur lesquelles cette théorie s'appuie.

1. Théorie micro-économique

Pour présenter la théorie micro-économique néoclassique, nous partirons de l'objectif de la firme et de sa modélisation par une fonction de transformation de facteurs de production en produits. Nous établirons le lien entre les caractéristiques des facteurs et l'horizon des décisions, puis en introduisant la notion de coût des facteurs, nous décrirons la méthode de résolution par l'analyse marginale, menant à l'optimum de production.

¹ M. BLAUG : *La pensée économique : origine et développement*, Economica, 1981, p. 345.

² G. KOENIG : *Les théories économiques de la firme*, Economica, 1993, p. 5.

³ M. BLAUG : *La pensée économique : origine et développement*, op. cit., p. 345.

1.1 Objectif de l'entreprise et facteurs de production

La théorie économique néoclassique considère que les individus se comportent tous suivant la même rationalité. En conséquence, elle "admet que le même principe sous-tend chaque décision dans l'entreprise, et que la décision ne porte pas la marque de celui qui la prend. L'entreprise peut donc être considérée comme une unité de prise de décision qui a des objectifs et qui prend des décisions qui conviennent afin de les réaliser"⁴.

Aussi, puisque les critères individualisés de décision des acteurs sont exclus, il convient de déterminer une fonction de préférence globale, au niveau de l'entreprise, qui permette le choix de la politique économique. Dans la théorie néoclassique, il est admis que l'entreprise prenne ses décisions de manière à ce que ses profits soient les plus importants possibles, et ce postulat permet d'expliquer le comportement d'une firme : "l'hypothèse de maximisation de profit fournit un principe à l'aide duquel on peut prévoir les décisions de l'entreprise. L'économiste peut prévoir le comportement de l'entreprise en face des possibilités variées de choix qui lui sont offertes en étudiant l'effet que chacun des choix aurait sur les profits de l'entreprise. Il nous dit alors que l'entreprise retiendra la solution qui procurera les plus grands profits"⁵.

Remarquons à ce propos que la notion de profit est définie en économie par la différence entre la valeur des ventes de l'entreprise et les coûts qu'elle dépense pour produire ce qui est vendu. En particulier, "dans la théorie élémentaire de l'entreprise, on fait l'hypothèse que la quantité produite est égale exactement à la quantité vendue. Ainsi, lorsque l'on considère le revenu retiré des ventes de l'entreprise, on admet que la valeur de la production et la valeur des ventes sont identiques. Cette simplification néglige les stocks et les biens en cours de fabrication, mais elle peut être adoptée sans affecter de manière importante les conclusions obtenues à partir d'une telle approche"⁶. Nous verrons par la suite que le gestionnaire d'entreprise s'attache davantage à suivre les décalages possibles entre production et vente⁷.

⁴ R. LIPSEY et P. STEINER : *Analyse économique (Economics)*, traduction française de l'édition de 1975, 1985, p. 189.

⁵ *Idem.*

⁶ *Ibid.*

⁷ A partir d'un but identique de profit à court et moyen terme, E. Goldratt fait la distinction entre la production et les ventes, et ne prend en compte ces ventes que lorsque l'argent entre réellement dans la caisse. Voir *infra*, p. 87.

Le modèle de la fonction de production

L'entreprise réalise ses produits selon un processus de transformation dans lequel interviennent des facteurs de productions (intrants) extrêmement divers comme des matières premières, des services, des machines, ... Les économistes regroupent ces intrants en considérant que "toute production peut être justifiée par les services de seulement trois catégories de facteurs : tous les dons de la nature tels que la terre et les matières premières auxquels les économistes donnent le nom de *terre*, tous les efforts physiques et intellectuels fournis par les individus qui sont appelés *travail* et toutes les machines et autres produits qui ne sont pas en eux-mêmes des composantes des produits finis. Ce troisième type d'intrant est appelé *capital*, il est défini comme un ensemble d'aides fabriquées par l'homme pour la production à venir"⁸.

A partir de ces facteurs de production, la théorie néoclassique utilise un outil d'analyse, la *fonction de production*, qui permet de représenter l'activité d'une entreprise par l'établissement de liens entre le volume global de la production et la quantité des différents facteurs utilisés. Cette fonction décrit les différentes manières efficaces, au sens de l'efficacité technique, pour combiner les facteurs de production afin d'obtenir différentes quantités d'extrants. Elle correspond donc en fait à une frontière au delà de laquelle il est impossible d'augmenter la production d'un extrant sans diminuer celle d'un autre ou sans utiliser une plus grande quantité d'au moins un intrant. En deçà peuvent se trouver des combinaisons de facteurs menant à la même quantité d'extrant que sur la frontière, et qui sont donc techniquement moins productives. La forme générique de la fonction de production pour un produit est :

$$Y = f(F_1, F_2, \dots, F_n)$$

où Y représente le volume de production du produit, et F_i les quantités des différents facteurs utilisés.

Dans ce modèle, la seule action sur les quantités utilisées des différents facteurs permet d'ajuster la quantité produite à la sortie. Cependant, certains facteurs sont dans la pratique modifiables plus facilement que d'autres. Aussi, il est intéressant d'étudier comment le volume de production varie dans l'hypothèse où certains facteurs restent constants tandis que d'autres facteurs varient. Dans ce but, il est d'usage de faire une distinction entre les facteurs *variables* et les facteurs *fixes*, mais il faut remarquer que la détermination du

⁸ R. LIPSEY et P. STEINER : *Analyse économique, op. cit.*, p. 191.

caractère fixe ou variable d'un facteur dépend le plus souvent du laps de temps envisagé. A l'échelle d'une journée, l'investissement en machines est un facteur fixe, tandis que sur une durée suffisamment longue, il devient un facteur variable. Aussi, "au lieu de parler de facteurs fixes, il est plus juste d'user du terme de facteurs temporairement fixes, ou encore de facteurs à long terme et à court terme"⁹. Cette distinction est d'autre part liée à la notion d'irréversibilité du facteur car "plus un facteur est fixe, plus *irréversibles* sont les changements qui viennent (...) s'opérer de temps à autre. Une matière première telle que le cuivre (ou le fer), par exemple, constitue un facteur typiquement variable. Son volume est pratiquement proportionnel au volume de la production, dont il suit exactement les fluctuations. C'est également un facteur éminemment réversible en ce sens que l'entrepreneur (...) pourra en diminuer la consommation si la production baisse, soit qu'il réduise ses achats, soit encore s'il dispose de stocks excessifs, qu'il revende le surplus, ce qu'il fera ordinairement sans difficulté, dès lors qu'il s'agit d'une matière de bonne conservation et disposant d'un marché universel"¹⁰. La main d'oeuvre non qualifiée est également un facteur réversible, mais en revanche la main d'oeuvre spécialisée qui a nécessité une formation spéciale est un facteur moins réversible : "l'entrepreneur sera souvent amené à la maintenir dans l'entreprise alors même qu'il n'en a pas temporairement l'emploi"¹¹.

Une autre distinction fondamentale concerne l'association entre éléments d'intrants et éléments d'extrants. En effet, lorsque l'entreprise fabrique plusieurs produits différents, il n'est pas toujours aisé de connaître directement l'exakte répartition de la contribution d'un facteur à l'un ou l'autre de ces produits. Lorsque pour un facteur cette répartition n'est pas connue, il sera qualifié de *facteur général* car il intéressera le processus de production dans son ensemble. En revanche si l'on sait à quelle unité de produit déterminée un élément d'intrant peut être imputé, il sera qualifié de *facteur spécial*¹².

Le choix sur les facteurs substituables

Sur le plan théorique, la fonction de production décrit les différents volumes d'extrant obtenus avec toutes les combinaisons possibles des différents facteurs. Sur ce modèle, la théorie néoclassique s'intéresse particulièrement aux cas de substitution possible des

⁹ R. FRISCH : *Lois techniques et économiques de la production*, Dunod, 1963, p. 15.

¹⁰ *Idem*.

¹¹ *Ibid*.

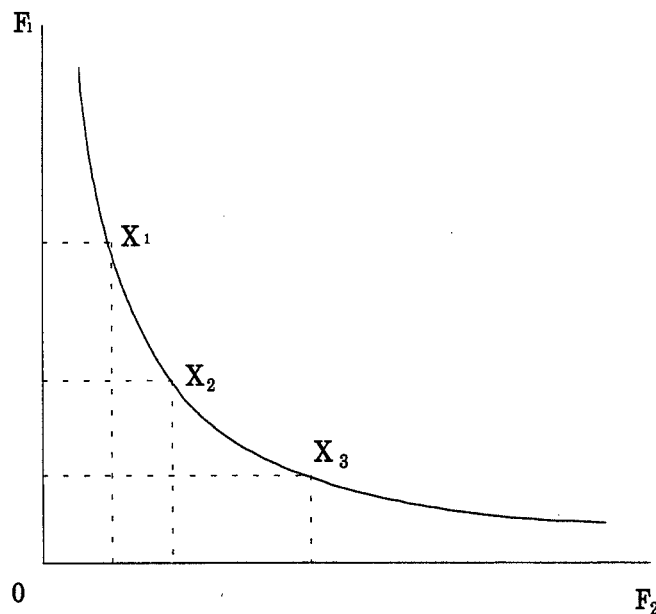
¹² *Ibid.*, p. 16.

facteurs, et notamment aux catégories capital et travail. Une fonction particulièrement utilisée pour étudier la croissance est celle de Cobb-Douglas¹³ :

$$Y = A \cdot K^{\alpha} \cdot L^{1-\alpha}$$

où Y est le volume de production, K la quantité de capital, L la quantité de travail et A un coefficient d'homogénéité.

Cette fonction dans laquelle α représente la part de la production attribuée au capital et $1-\alpha$ la part attribuée au travail postule qu'il y a possibilité de substitution parfaite entre capital et travail. Un niveau de production donné peut donc être atteint d'une multitude de façons différentes, comprenant chacune plus ou moins de travail. Dans ce contexte, l'ensemble des points correspondant à toutes les combinaisons de facteurs qui mènent à la même quantité d'exrant est appelée *isoquant*. Pour deux facteurs génériques substituables F_1 et F_2 , la représentation graphique d'un isoquant prend la forme suivante :



Graphique 1 : Représentation graphique d'un isoquant - cas de deux facteurs génériques substituables

¹³ J. BREMOND et A. GELEDAN : *Dictionnaire des théories et mécanismes économiques*, Hatier, 1984, p. 83.

Les positions X_1 , X_2 ou X_3 mènent à des quantités identiques d'extrant, et l'entrepreneur qui désire atteindre un niveau de production donné doit donc choisir un point sur l'isoquant. Dans la pratique, le cheminement vers une position n'est cependant pas instantané. Il fait intervenir une dimension temporelle dans laquelle A. Marshall distingue quatre périodes¹⁴ :

- une "période du marché" dans laquelle le montant des offres est fixe,
- une "courte période" durant laquelle les quantités offertes peuvent être augmentées mais où la capacité de production est fixe,
- une "longue période" durant laquelle la capacité de production est variable mais dans laquelle le montant des ressources potentiellement disponibles est fixe,
- une "très longue période" dans laquelle les techniques de production tout comme la capacité de production peuvent être modifiées.

Notons au passage que cette analyse renvoie à un "temps opérationnel" et non pas à un "temps d'horloge" absolu. En effet, d'une part la période sera réputée courte ou longue selon des délais de réaction et d'adaptation propres à chaque secteur d'activité, et d'autre part, bien que le court terme corresponde normalement à une période de temps plus brève que le long terme, cela n'est pas toujours le cas, comme l'indique M. Blaug : "on peut imaginer par exemple que le temps nécessaire pour accroître la production avec les installations existantes soit plus long que celui nécessaire à en mettre en oeuvre de nouvelles. Nous aurions alors un long terme plus bref que le court terme"¹⁵.

Dans l'horizon de la période du marché, ou période infra-courte, le producteur ne peut agir ni sur les intrants, ni sur la structure de la fonction de production. Il n'y a donc pas de déplacement possible sur l'isoquant, ni de modification possible de la quantité d'extrant. L'ajustement du volume de produit offert passe alors par des actions en aval du champ de la fonction de production, c'est-à-dire par des variations sur les stocks de produits finis.

Dans le cadre des décisions de courte période, l'entreprise ne peut par définition intervenir que sur les facteurs variables. Aussi, du point de vue théorique, la décision appartiendra à cette catégorie si au moins un facteur significatif, appelé alors facteur fixe, ne peut pas varier. "Le facteur fixe dans la courte période est habituellement un élément du capital (tels que les usines ou les équipements), mais il peut être aussi la terre ou la capacité

¹⁴ M. BLAUG : *La pensée économique : origine et développement*, op. cit., p. 434.

¹⁵ *Idem*.

de gestion et même l'offre d'un travail salarié qualifié"¹⁶. Le type de facteur retenu comme limitant (tout comme la durée de l'horizon) dépend donc du type d'entreprise considéré. Cependant dans la plupart des cas il s'agira du facteur capital et la modification du volume produit, c'est-à-dire le passage d'un isoquant à un autre s'effectuera par une action sur la quantité de travail fournie.

Dans le cadre des décisions de longue période, "les intrants de tous les facteurs de production peuvent varier, mais la technologie de base de la production reste inchangée. (...) L'importance particulière de la longue période dans la théorie de la production est liée au fait qu'elle correspond à une situation dans laquelle l'entreprise doit planifier son développement, prévoir l'extension de l'échelle de ses opérations de production, l'extension de ses débouchés vers de nouveaux produits ou de nouvelles zones ou prévoir la modernisation, le remplacement ou la réorganisation de ses méthodes de production"¹⁷. Les décisions de ce type font clairement référence à la stratégie¹⁸ de l'entreprise, et le choix n'est plus limité par un facteur considéré comme fixe. Cependant, les possibilités technologiques du moment, c'est-à-dire les techniques de production connues, réduisent l'éventail des décisions. Ainsi, il existe à chaque instant "une technique socialement donnée, un système d'acquisitions techniques donné, qui est, comme tel, à la disposition du chef d'entreprise"¹⁹. Parmi les multiples techniques possibles, certaines seront effectivement retenues par telle ou telle entreprise, et "la technique d'une entreprise considérée individuellement n'est pas déterminée seulement par la technique socialement donnée, (mais) dépend de nombreuses circonstances : l'étendue du marché, les moyens en capitaux dont elle dispose, etc."²⁰. La problématique de décision correspond alors au choix des nouveaux équipements et des nouveaux processus de production dans le cadre des connaissances techniques et en fonction de la stratégie globale de l'entreprise. Une augmentation de production pourra ainsi être obtenue par la combinaison de la modification des quantités de différents facteurs. Dans l'exemple suivant, la transition d'un isoquant à l'autre s'effectue par accroissement simultanée des facteurs F_1 et F_2 (passage de la position X_0 à la position X_1) ou encore par diminution du facteur F_1 et augmentation de F_2 (passage à la position X_2) :

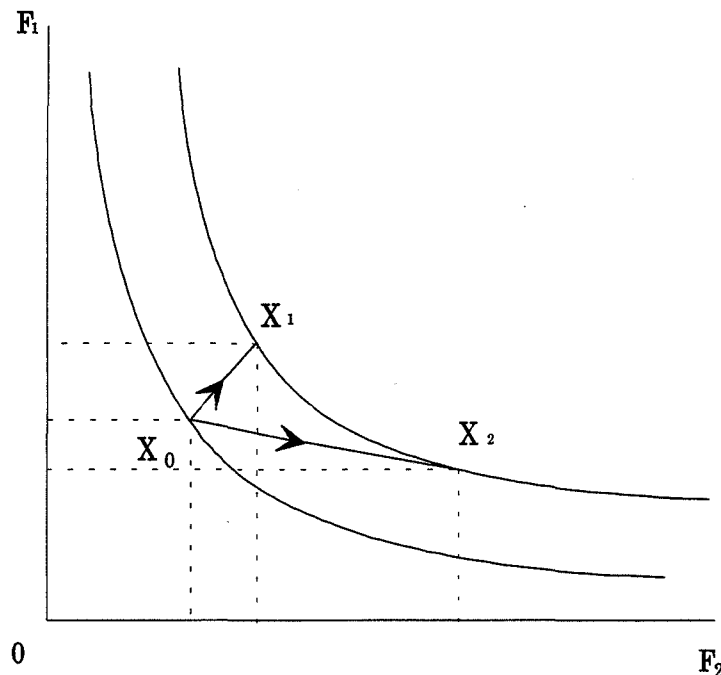
¹⁶ R. LIPSEY et P. STEINER : *Analyse économique, op. cit.*, p. 208.

¹⁷ *Idem.*

¹⁸ Ces décisions appartiennent au niveau stratégique de R. Anthony décrit dans le chapitre 1. Les décisions de courte période font référence aux niveaux administratif et opérationnel.

¹⁹ R. FRISCH : *Lois techniques et économiques de la production, op. cit.*, p. 22.

²⁰ *Idem.*



Graphique 2 : Modélisation des décisions de longue période par changement d'isoquant

Le progrès technique et les innovations

En très longue période en revanche, la technologie et les connaissances peuvent évoluer. Ainsi, une quantité constante d'intrant pourra fournir davantage d'extrants grâce à l'introduction de techniques plus performantes, ce qui se traduit graphiquement par un déplacement vers le haut de la fonction de production. Au lieu de se déplacer le long de fonctions de production données, la firme passera alors d'une fonction à une autre au gré des actions d'innovation.

Notons qu'il n'est pas toujours évident de trouver les limites entre technique constante et changement de technique. Ainsi, "certains auteurs estiment que toute modification, quelle qu'elle soit, apportée au processus de production constitue un changement de technique ; d'autres associent l'idée de changement de technique à l'apparition de découvertes importantes, de révolutions industrielles, etc."²¹. En revenant à la fonction de production, on peut donner comme définition que "la technique est constante tant que le lien fonctionnel

²¹ R. FRISCH : *Lois techniques et économiques de la production*, op. cit., p. 22.

exprimant la relation qui existe entre la quantité de produit et les quantités de facteur reste inchangé"²².

M. Blaug remarque que "les théories économiques du progrès technique se sont traditionnellement limitées aux *innovations*, laissant de côté les *inventions* : on se représente l'entrepreneur confronté avec une liste d'inventions connues mais non exploitées parmi lesquelles il peut faire un choix"²³. En particulier, on ne se préoccupe donc pas ici d'encourager l'émergence de solutions techniques inventives au sein de l'organisation productive. M. Blaug range d'autre part les innovations en deux catégories : celles qui portent sur les processus et celles qui portent sur les produits, en remarquant que la distinction est dans une certaine mesure artificielle : "l'introduction d'un processus qui procure une réduction des coûts s'accompagne parfois d'un changement dans l'éventail des produits, tandis que les produits nouveaux demandent fréquemment des équipements nouveaux. Dans la pratique, les deux catégories sont habituellement si imbriquées que toute distinction s'avère arbitraire"²⁴. Il indique toutefois que l'attention des économistes s'est beaucoup portée sur le problème de la classification des innovations concernant le processus. En effet, suivant le principe de substitution entre capital et travail, et en fonction du facteur le plus impliqué dans le changement, les économistes ont distingué trois types de progrès technique²⁵ :

- lorsque pour une quantité identique d'extrant, la réduction en pourcentage du facteur capital est plus grande que celle du facteur travail, on dit que le progrès technique économise le capital (*capital saving*);
- inversement, si la réduction du facteur travail est la plus importante, il s'agira d'économie de travail (*labour saving*);
- enfin, si les réductions des facteurs capital et travail sont équivalentes, le progrès technique est dit neutre.

M. Blaug note cependant que ce critère des proportions relatives des facteurs demeure ambigu, en particulier en raison des phases de mise en place : "une innovation qui économise du capital, une fois devenue opérationnelle, peut absorber relativement plus de capital que de travail durant la période de gestation. Au contraire, une innovation qui diminue les dépenses initiales en capital peut se révéler consommatrice de capital en

²² *Idem*, p. 23.

²³ M. BLAUG : *La pensée économique : origine et développement*, op. cit., p. 550.

²⁴ *Idem*, p 551.

²⁵ E. MANSFIELD : *Economics of technical change*, Norton and C°, p. 20.

définitive, si elle accélère le rythme des renouvellements par l'intermédiaire de l'obsolescence"²⁶. Pourtant si l'on conserve cette classification pour l'analyse, il semble que la tendance générale du progrès technique mène à des innovations économisant le travail, et que les améliorations qui économisent le capital représentent l'exception²⁷. K. Marx donne cependant des exemples d'améliorations économisant le capital, et qui sont de nature très organisationnelles : réduction du délai de production pour augmenter les profits par diminution du stock de bien à niveau de production constant, amélioration de la qualité des machines, diminution des délais de livraison et des frais de transport, ...²⁸. Toutefois, c'est bien dans une logique globale de remplacement de l'homme par la machine que le calcul économique s'est développé, suivant la tendance générale d'une innovation qui économisait essentiellement le travail.

Enfin, notons que dans les deux cas le progrès technologique peut provenir de sources internes ou externes à l'entreprise. A l'extérieur, il découle de l'avancement des connaissances et du transfert de ces connaissances vers le monde industriel. A l'intérieur, il résulte des efforts de recherche et développement, du travail d'organisation des bureaux des méthodes, et émane également des perfectionnements proposés par les différents acteurs, dans la mesure où ils sont pris en considération. Dans ce cadre on peut citer également les processus d'apprentissage et les lois d'expérience qui participent à l'évolution de la fonction de production. Pour l'entreprise, la problématique de décision dite de "très longue période" correspondra donc au choix des moyens permettant de faire émerger et d'appliquer les nouvelles technologies.

Nous avons vu qu'un niveau de production donné pouvait être atteint d'une multitude de façons différentes selon la dose de chacun des facteurs et que les entreprises devaient choisir une combinaison de ces facteurs dans le cadre de processus de décision à court, long ou très long terme. Cependant, un critère d'efficacité technique ou technologique ne suffit pas pour guider la décision puisque selon l'hypothèse de substitution, plusieurs possibilités également efficaces subsistent et l'ensemble des points de l'isoquant satisfait le critère. Aussi faut-il faire appel à un concept d'"efficacité économique qui implique le choix parmi l'ensemble des combinaisons techniquement efficaces, de celle qui représente le moindre sacrifice pour l'entreprise"²⁹. Cette notion d'efficacité économique enrichit l'efficacité

²⁶ M. BLAUG : *La pensée économique : origine et développement*, op. cit., p. 552.

²⁷ *Idem*, p. 560.

²⁸ *Ibid.*, p. 293.

²⁹ R. LIPSEY et P. STEINER : *Analyse économique*, op. cit., p. 193.

technique en dépassant la simple productivité au niveau physique (définie par le rapport entre le volume de production et l'un des facteurs utilisés) par l'ajout du concept de coût des facteurs qui permet de guider le choix en fonction de l'objectif classique de maximisation du profit. C'est pourquoi nous allons à présent développer les formes néoclassiques du calcul économique statique fondé sur des mesures en terme de coûts. Nous verrons qu'il s'adresse particulièrement aux décisions de courte et de longue période, et considère les évolutions classées précédemment dans la catégorie très longue période comme des changements extérieurs au comportement des entreprises et des industries³⁰.

1.2 Coûts des facteurs et analyse marginale

Selon la théorie néoclassique, après s'être placé sur la frontière définie par la fonction de production de façon à assurer l'efficacité technique en interdisant le gaspillage en volume des facteurs de production, il reste deux étapes de résolution dans la méthode (de type "problem solving") classiquement employée pour trouver la solution³¹ : rechercher d'abord la combinaison de facteurs induisant un coût minimum pour chaque niveau de production, puis connaissant les coûts de chaque niveau de production, déterminer le niveau d'extrant correspondant à l'optimum c'est-à-dire au maximum de bénéfices. Notons qu'il est supposé pour cette dernière étape que l'entreprise connaisse le prix de chaque produit et qu'elle ne puisse pas influencer sur ce prix par ses décisions.

Le choix de la combinaison des facteurs

La nécessité de rechercher la combinaison de facteurs induisant un coût minimum provient du fait que tous les points d'un isoquant sont aussi efficaces techniquement, dans le sens où ils mènent sans gaspillage au même niveau de production, mais ne sont a priori pas équivalents en terme de coûts. Pour chaque niveau de production, l'entrepreneur va donc choisir sur l'isoquant la combinaison de facteurs qui engage la dépense minimum. Une analyse mathématique montre que cette position d'équilibre est atteinte lorsque la dépense supplémentaire engendrée par une variation de l'emploi d'un facteur est identique quelque soit le facteur considéré³².

³⁰ Cf. R. LIPSEY et P. STEINER p. 221.

³¹ R. CYERT et J. MARCH : *Processus de décision dans l'entreprise*, Dunod, 1970, p. 5.

La position d'équilibre correspond ainsi à la combinaison optimale qu'il faut mettre en oeuvre pour atteindre un niveau de production donné sans gaspillage et au moindre coût. Lorsqu'il désire modifier son niveau de production, l'entrepreneur rationnel se déplace sur un itinéraire formé de positions optimales successives et appelé le *sentier d'expansion*³³ de l'entreprise.

Il nous reste à déterminer la forme des coûts avant de passer à la dernière phase de résolution qui déterminera le niveau de production correspondant au maximum de bénéfices. Pour cela, il convient de distinguer les coûts en courte période et les coûts en longue période.

En courte période, un certain nombre de facteurs sont fixés et participent ainsi au coût total sous la forme de coûts fixes. Ces facteurs sont en général les équipements existants qu'il faut considérer comme des contraintes données, le choix étant alors limité à la part de contribution des différents coûts variables au volume de production. Le phénomène connu sous le nom de *loi des rendements décroissants* traduit que lorsque l'on commence à utiliser un facteur, chaque unité supplémentaire procure une production supplémentaire de plus en plus grande, puis qu'il arrive un moment où ces productions supplémentaires cessent de croître puis décroissent jusqu'à devenir nulles³⁴. Aussi, lorsque des quantités croissantes d'un facteur variable sont combinées à une quantité donnée de facteurs fixes, il arrivera un moment où la productivité marginale du facteur variable finira par décroître³⁵. Cela signifie qu'au delà d'une certaine quantité de facteur variable fournie, la productivité physique de ce facteur diminue, par exemple en raison de la fatigue physique s'il s'agit d'un facteur travail.

Cette hypothèse étant donnée, si l'on veut augmenter progressivement la production, les quantités supplémentaires de facteurs nécessaires seront d'abord de plus en plus petites, puis à peu près constantes, et enfin de plus en plus grandes. Les prix des facteurs étant fixés,

³² Si l'on note C_i le coût unitaire du facteur F_i , et Pm_i la productivité marginale du facteur F_i c'est-à-dire la dérivée partielle de la fonction de production par rapport au facteur F_i : $Pm_i = \frac{\partial Y}{\partial F_i}$, alors la position d'équilibre se traduit par la relation :

$$\frac{Pm_i}{Pm_j} = \frac{C_i}{C_j}, \text{ pour chaque couple de facteur } (F_i, F_j).$$

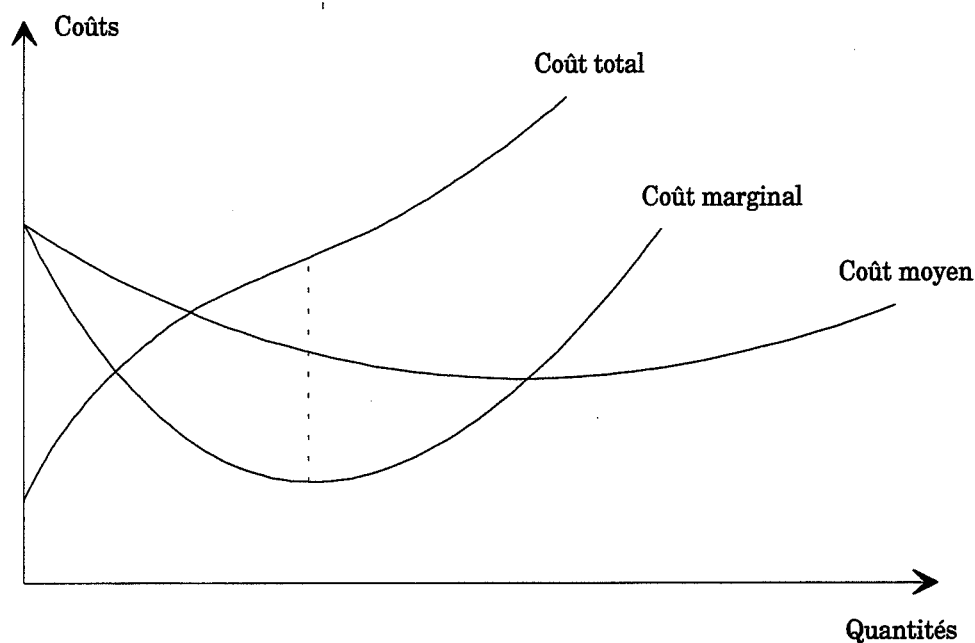
³³ M. VATÉ : *Leçons d'économie politique*, Economica, 1978, p. 88.

³⁴ *Idem*, p. 85.

³⁵ R. LIPSEY et P. STEINER : *Analyse économique*, op. cit., p. 211.

le coût marginal, défini par la dérivée du coût total par rapport à la quantité produite, est donc d'abord décroissant, puis constant et enfin croissant³⁶. Le graphique suivant illustre cette situation. Outre le coût marginal, nous y représentons :

- le coût total qui correspond à la dépense totale engagée pour la fabrication d'une quantité donnée d'extrant, et qui est constitué à la fois de coûts provenant de facteurs fixes et de coûts provenant de facteurs variables,
- le coût moyen qui est le coût total de fabrication d'un extrant donné, divisé par la quantité produite.

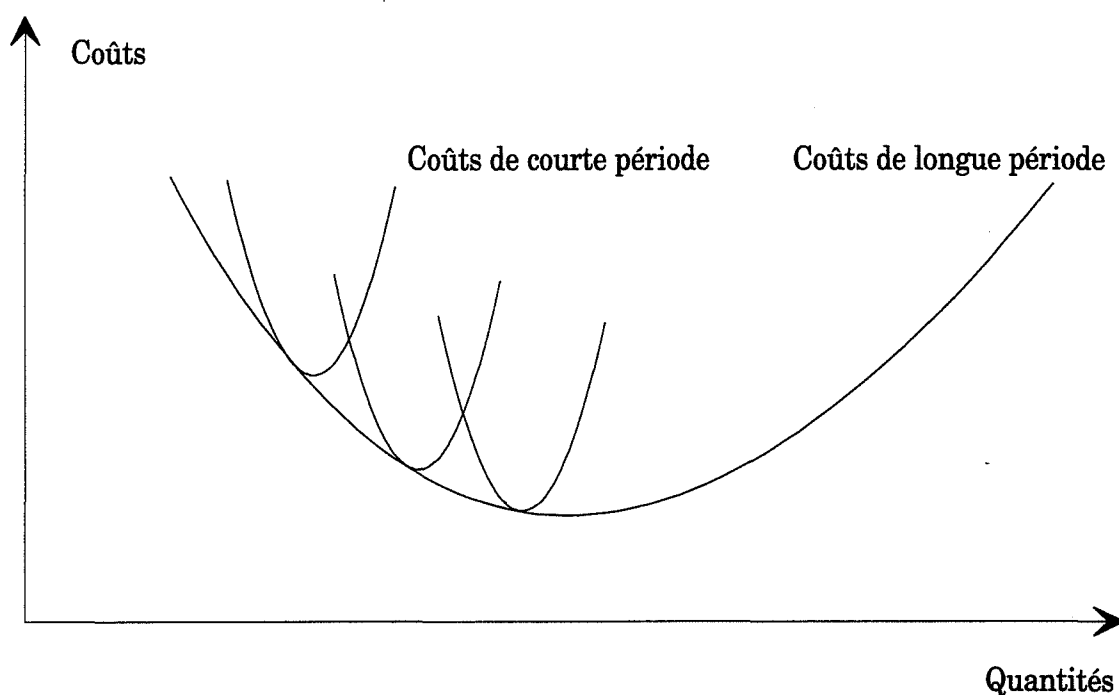


Graphique 3 : Coûts de courte période des facteurs selon les quantités produites dans la théorie néoclassique

Le minimum de la courbe de coût marginal correspond naturellement au point d'inflexion de la courbe de coût total, et les courbes de coûts moyen et marginal se coupent au minimum de la courbe de coût moyen car au delà de ce point, le coût d'une unité supplémentaire (coût marginal) est supérieur au coût moyen et augmente donc ce coût moyen.

³⁶ M. VATÉ : *Leçons d'économie politique*, op. cit., p. 89.

En longue période, la capacité peut varier par modification des équipements de production, et l'évaluation du coût résulte alors d'une double opération³⁷ : pour chaque taille possible d'équipement on établit une courbe de coût du type précédent, puis on choisit pour chaque niveau de production la capacité qui donne le plus faible coût total. La courbe de coût de longue période se déduit alors simplement de l'ensemble des courbes de coût de courte période, en considérant qu'elle en dessine l'enveloppe minimum puisque en longue période il est possible d'agir sur davantage de facteurs, ce qui donne un degré de liberté supplémentaire dans la décision, permettant ainsi d'abaisser encore le coût. La représentation graphique suivante montre la relation entre courbe de coût moyen de courte période et de longue période :



Graphique 4 : Coûts de longue période dans la théorie néoclassique

On note que la courbe de coût de courte période est tangente à la courbe de longue période au niveau de production pour lequel la quantité de facteur fixe est celle qui convient le mieux et se situe au dessus d'elle pour tous les autres niveaux de production. Ce résultat

³⁷ *Idem*, p. 91.

est intéressant car il concerne "la distinction subtile entre la manière la plus efficace d'utiliser un équipement donné et la manière la plus efficace de produire un certain niveau d'extrait. (...) Si des équipements plus importants peuvent permettre d'obtenir des coûts unitaires plus faibles, il y aura intérêt à les mettre en place et à les sous-utiliser chaque fois que les gains tirés de l'utilisation de ces équipements plus importants sont suffisamment élevés pour compenser les coûts de l'utilisation des équipements devenus inefficaces³⁸. Si la mise en place d'équipements plus importants entraîne certains gains (si le coût moyen de longue période est décroissant) une certaine sous-utilisation est toujours justifiée"³⁹. Nous voyons donc apparaître ici pour les décisions de longue période une difficulté due au décalage entre l'efficacité au niveau physique local et le profit global de l'entreprise, et qui ne doit plus être réglée par la recherche du meilleur rendement d'un seul facteur, mais par un concept plus large de *productivité globale des facteurs* sur lequel nous reviendrons plus loin⁴⁰.

Enfin, sur très longue période, un progrès technique modifiant les coûts est considéré comme un phénomène extérieur au comportement de l'entreprise, c'est-à-dire que les modifications des prix des facteurs affectent les coûts de l'entreprise, mais ne sont pas influencées par le comportement de l'entreprise. Ces effets d'innovation se traduisent dans la théorie uniquement par un déplacement vers le bas des courbes de coût qui amènera l'entreprise à trouver une nouvelle position d'équilibre⁴¹. Les problèmes de trajectoires et de perturbations internes liés aux effets d'innovation ne sont pas traités en théorie statique comparative.

La détermination de la quantité de production optimale

A partir des courbes de coût précédemment construites, et à partir du prix de vente des extraits qui est donné et fixe⁴², l'entrepreneur de la théorie néoclassique va déterminer le niveau de production qui lui permet d'obtenir le plus grand profit possible. Or cet entrepreneur a intérêt à augmenter son volume de production aussi longtemps qu'une unité

³⁸ au sens de l'efficacité physique.

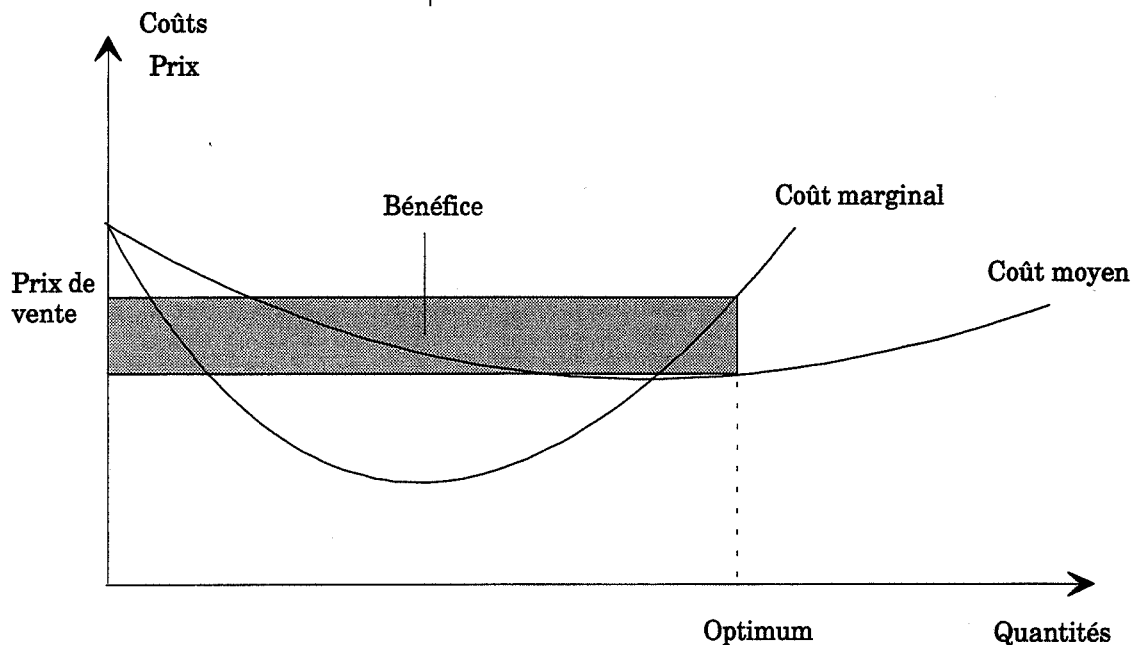
³⁹ R. LIPSEY et P. STEINER : *Analyse économique, op. cit.*, p. 220.

⁴⁰ Cf. *infra* p. 95.

⁴¹ Cf. *Encyclopédie économique, Economica*, 1984, p. 782.

⁴² En situation de concurrence complète, ces prix sont donnés par le marché et s'imposent à la firme. En cas de concurrence incomplète, ils dépendront de la quantité de biens demandée à la firme.

supplémentaire lui rapporte plus qu'elle ne lui coûte, c'est-à-dire aussi longtemps que le coût marginal est inférieur au prix. Le bénéfice correspond alors au produit de la quantité retenue par la différence entre le prix de vente et le prix moyen.



Graphique 5 : Détermination de la décision de production optimale en théorie néoclassique, et bénéfice obtenu

Enfin, si le prix de vente est inférieur au minimum de la courbe de coût moyen, l'entreprise sera déficitaire. Cependant, et comme le note M. Vaté, l'entreprise peut survivre quelques temps si le prix de vente reste supérieur au minimum de la courbe de coût variable moyen. Dans ce cas, elle couvrira au moins la part variable de ses frais de production, remettant éventuellement à plus tard la couverture de ses frais fixes⁴³.

2. Premières remarques sur la théorie néoclassique

Nous avons vu que l'explication de la démarche décisionnelle d'une firme selon la vision néoclassique était fondée sur l'hypothèse de recherche d'un maximum de profit en

⁴³ M. VATÉ : *Leçons d'économie politique*, op. cit., p. 92.

situation de concurrence et d'information parfaites. Dans ce contexte, les décisions sont parfaitement rationnelles et suivent les conditions d'optimum que nous avons indiquées plus haut.

Ce modèle mathématique de description des échanges doit cependant être confronté à la réalité complexe des situations industrielles. En effet, dès que "la firme ou l'organisation est considérée comme un groupe d'individus dotés de caractéristiques comportementales, la doctrine de la théorie économique traditionnelle doit être remplacée par d'autres versions qui prennent en compte les problèmes humains et les réalités des comportements de groupe"⁴⁴. Et dans ce contexte, la prise de décision ne peut plus être considérée comme un processus répondant simplement à la résolution d'un problème de maximisation à partir de contraintes clairement identifiées.

Aussi, nous allons aborder à présent d'une part les difficultés liées au contexte réel d'information imparfaite, et d'autre part la question du but de l'organisation productive.

2.1 Information imparfaite et coût marginal

Le principe de connaissance parfaite des données du modèle a été critiqué par de nombreux auteurs. R. Anthony et J. Dearden notent que "le modèle présume que l'entrepreneur a des informations que la plupart des entrepreneurs ne peuvent en fait pas obtenir, principalement le profil de la courbe de demande pour ses produits, et les effets sur les profits de différentes dépenses de marketing, de recherche et développement, et d'autres activités pour lesquelles la relation de cause à effet entre l'effort et le résultat n'est pas connue"⁴⁵. De plus, "l'homme d'affaires fonde ses décisions sur des concepts comptables qui diffèrent de ceux de l'économiste ; le décalage entre l'accumulation et l'interprétation des données est tel que des décisions importantes doivent être prises sur des informations fragmentaires et en partie périmées ; et, en raison du coût de l'acquisition d'une information économique complète, les entreprises ne peuvent être en mesure de se procurer autant d'information que les économistes supposent qu'elles ont"⁴⁶. Nous rejoignons ici le problème du choix effectué en contexte d'information incomplète que nous avons décrit au chapitre 1

⁴⁴ J. VAN GIGCH : *Applied General System Theory*, Harper & Row publishers, 1974, p. 79.

⁴⁵ ANTHONY R. et DEARDEN J. : *Management control system - Text and cases*, R. Irwin inc., 1976, p. 134.

⁴⁶ R. LIPSEY et P. STEINER : *Analyse économique, op. cit.*, p. 353.

et qui se ramène selon J. March et H. Simon, à la recherche d'un choix *satisfaisant* exercé au regard d'un schéma simplifié, limité et approximatif de la situation réelle. Pour J. Van Gigh également, "le calcul de maximisation de profit ne peut pas prendre en compte toutes les complexités du monde réel, et il n'existe pas de modèle d'optimisation qui pourrait représenter les réalités de la vie de l'entreprise"⁴⁷.

D'autre part, le principe de recherche d'égalité entre coût marginal et revenu marginal a également été critiqué. D'abord en raison de la difficulté de mesure, et notamment parce que "la comptabilité de l'entreprise est fondée sur des hypothèses de linéarité, et qu'il n'est pas toujours facile de calculer des coûts marginaux"⁴⁸. Ensuite parce que l'entrepreneur a fréquemment utilisé dans la pratique la méthode du coût de revient complet : "il fixe le prix à un niveau égal au coût moyen tel qu'il est évalué par son comptable auquel s'ajoute un bénéfice brut conventionnel"⁴⁹. Cet ajout calculé à partir d'un taux de marque "couvre alors d'une part les coûts de sortie (frais de vente, etc.) et d'autre part un certain niveau de profit. Or ceci se fait d'une façon très empirique, sans que l'on détermine rationnellement le taux de marque à appliquer"⁵⁰. Le fonctionnement quotidien des entreprises peut donc être dans la pratique différent du principe théorique de recherche de l'égalité entre le coût marginal et la recette marginale.

2.2 Les alternatives au maximum de profit

L'hypothèse de recherche du profit comme but ultime de l'entreprise a également été critiquée. En fait, plusieurs autres buts ont souvent été déclinés à la place d'une simple maximisation de profit. Ainsi dans certains cas, le profit maximum immédiat peut s'opposer à l'obtention d'un profit maximum *à long terme* qui deviendrait alors le but à atteindre⁵¹. Une autre vision consiste à considérer que "le but d'une entreprise est d'utiliser ses ressources aussi efficacement que possible en fournissant des biens et des services à ses clients et que l'activité compensera équitablement ceux qui fournissent ces ressources, c'est-

⁴⁷ J. VAN GIGCH : *Applied General System Theory*, op. cit., p. 80.

⁴⁸ M. ALBOUY : *La régulation économique dans l'entreprise*, op. cit., p. 229.

⁴⁹ R. LIPSEY et P. STEINER : *Analyse économique*, op. cit., p. 353.

⁵⁰ R. CYERT et J. MARCH : *Processus de décision dans l'entreprise*, op. cit., p. 11.

⁵¹ J. BREMOND et A. GELEDAN : *Dictionnaire des théories et mécanismes économiques*, op. cit., p. 127.

à-dire les actionnaires"⁵². Le critère qui sous-tend les décisions est dans ce cas un ratio entre dividendes distribués et capitaux engagés.

Ce ratio de retour sur l'investissement se retrouve fréquemment dans les analyses des gestionnaires d'entreprise. Ainsi, pour E. Goldratt, le but d'une entreprise, qui est de gagner de l'argent⁵³, sera atteint par l'augmentation simultanée de trois indicateurs de base : le retour sur l'investissement⁵⁴, le bénéfice net et la trésorerie⁵⁵. Le ratio est donc dans ce cas complété par la surveillance d'un indicateur de trésorerie traduisant ici une préoccupation très court terme de survie au jour le jour, faisant naturellement partie des buts de l'entreprise qui ne peut se soustraire aux contraintes de solvabilité vis-à-vis de ses créanciers.

D'autre part, si l'on considère l'ensemble des acteurs de l'entreprise, et pas seulement les actionnaires, d'autres buts peuvent émerger. Ainsi dans certains cas, "les entreprises ne cherchent pas à maximiser leurs profits mais leur chiffre d'affaires"⁵⁶, ce qui permet d'accroître le prestige et la notoriété. Cela se produit en particulier lorsque propriétaires et gestionnaires sont différents. Dans ce cas, les gestionnaires réaliseront un minimum de profit de sorte que leurs actionnaires soient satisfaits, puis rechercherons la croissance de l'entreprise sans s'embarrasser de considérations sur les profits⁵⁷.

Et si l'on veut étendre cette analyse à d'autres catégories d'acteurs, il faudra alors prendre en compte la valeur ajoutée, qui correspond à la richesse créée par l'entreprise, et qui sera répartie entre cinq agents économiques : le personnel (le travail), les propriétaires (capitaux propres), l'outil de production (terrains et équipements), les prêteurs (capitaux empruntés), l'Etat et les collectivités locales (services qu'ils apportent)⁵⁸. Selon ce point de

⁵² R. ANTHONY et J. DEARDEN : *Management control system - Text and cases, op. cit.*, p. 134.

⁵³ E. GOLDRATT et J. COX : *Le but*, Afnor Gestion, 1986, p. 36.

⁵⁴ Ce ratio de type taux de profit est le rapport d'un flux sur un stock : flux de bénéfice sur stock de capital. Il peut également être pris dans le sens dynamique d'une variation de flux sur une variation de stock, comme dans le cas d'un investissement.

⁵⁵ E. GOLDRATT : *The OPT concept*, Creative Output, 1983, p. 6.

⁵⁶ R. LIPSEY et P. STEINER : *Analyse économique, op. cit.*, p. 355.

⁵⁷ *Idem.*

⁵⁸ P. L. BRODIER : *La Valeur Ajoutée Directe*, Afnor Gestion, 1988, p. 41.

vue, la finalité de l'entreprise devient de créer des richesses, au sens de la valeur ajoutée, et de participer ainsi au produit intérieur brut⁵⁹.

Une autre approche consiste à décliner les objectifs de l'entreprise en terme de taux de croissance⁶⁰. Dans ce cadre, les actionnaires éprouveront des préférences pour le taux de croissance du capital (issu de la mise en réserve des profits non distribués et de l'émission d'actions et d'obligations nouvelles) plutôt que pour le montant du profit. Les dirigeants privilégieront quant à eux le taux de croissance des ventes, obtenu essentiellement par diversification de la production, et qui induit une dynamique d'expansion et de promotions au sein de la firme, permettant de satisfaire les attentes de progression en revenus, en pouvoir et en prestige⁶¹.

Les hypothèses de base de l'approche néoclassique que sont la recherche d'un maximum de profit et la situation de concurrence et d'information parfaites méritent donc quelques adaptations dès que l'on se place dans le monde réel complexe de l'entreprise. Aussi, pour avancer dans l'évaluation économique du fonctionnement des organisations productives nous allons considérer à présent l'approche du gestionnaire, qui est quelque peu différente en ce sens qu'il doit s'intéresser au fonctionnement interne de l'entreprise et s'adapter aux décalages que nous avons cités entre théorie et réalité complexe du monde réel. C'est pourquoi nous allons maintenant aborder les outils d'évaluation interne qui ont été développés par les gestionnaires d'entreprise, mais qui restent bien dans le prolongement théorique de ce que nous venons de présenter puisque comme le note P. Lorino, la micro-économie et la gestion sont deux disciplines "construites sur un fondement épistémologique commun : le rationalisme mécaniste"⁶².

⁵⁹ P. L. BRODIER : "Management par les coûts ou management par la valeur ajoutée ?", in *Mieux gérer la production - les outils économiques d'aujourd'hui*, Publication Cetim, 1993, p. 16.

⁶⁰ G. KOENIG : *Les théories de la firme*, op. cit., p. 36.

⁶¹ *Idem*.

⁶² P. LORINO : *L'économiste et le manager*, Editions La Découverte, 1991, p. 15.

SECTION 2 : CALCUL DE FONCTIONNEMENT ET D'ARCHITECTURE

Le calcul économique, défini comme "l'ensemble des techniques de gestion efficace des ressources rares"⁶³ permet d'appréhender le fonctionnement interne d'une organisation productive, et en particulier de :

- "décrire le comportement réel de l'entreprise,
- prévoir comment le comportement de l'entreprise se modifiera à la suite d'un changement dans les conditions existantes,
- aider l'entreprise à prendre les meilleures décisions possibles dans la réalisation de ses objectifs,
- évaluer le bon usage des ressources de l'entreprise"⁶⁴.

Si les deux premiers points intéressent plus particulièrement l'économiste pour situer le rôle de l'entreprise comme acteur d'un ensemble macro-économique, les deux derniers concernent plus directement le gestionnaire dans sa double tâche interne de planification et de contrôle de gestion. Pour mener à bien ces deux activités, le gestionnaire va utiliser de façon privilégiée les concepts de coût et va agir selon les principes établis de l'instrumentation de gestion actuellement en vigueur, que J. H. Jacot décompose en deux niveaux : le calcul de fonctionnement (détermination des prix de revient) et le calcul d'investissement (choix des projets d'équipement), en indiquant que "ces deux aspects traditionnels du calcul économique sont d'ailleurs très étroitement liés, au point que l'on peut sans doute dire que le coeur d'une gestion efficace d'une unité de production réside précisément dans la cohérence de ces deux modalités d'évaluation, courante des flux (optique prix de revient) et prospective des systèmes engendrant ces flux (optique choix d'investissement)"⁶⁵.

Nous allons donc développer dans cette section les techniques, fondées sur les coûts, qu'utilisent classiquement les gestionnaires d'entreprise pour évaluer et faire évoluer les structures productives. Pour cela, nous aborderons successivement la mesure des coûts de revient, puis la gestion des investissements.

⁶³ J. BENARD : *Economie publique*, Economica, 1985, p. 5.

⁶⁴ R. LIPSEY et P. STEINER : *Analyse économique*, op. cit., p. 193.

⁶⁵ J.H. JACOT : "Vers une nouvelle évaluation économique des systèmes de production", Texte pour le colloque de l'ACFAS de mai 1991, p. 1.

1. Coûts et productivité

Le calcul économique néoclassique qui permet l'évaluation de la performance d'une structure de production donnée s'appuie sur l'utilisation d'un certain nombre de coûts internes. La mesure de ces coûts, et leur comparaison avec les recettes aide le gestionnaire à décider du niveau d'activité à atteindre par produit, et à estimer le profit qui en résultera. Pour améliorer ces profits, à prix constant donné par le marché, il faut diminuer le coût des facteurs mis en oeuvre pour fabriquer un produit, démarche qui fait appel au concept de productivité. Nous aborderons donc successivement le calcul des coûts puis la recherche de la productivité.

1.1 Le calcul des coûts

Pour déterminer la contribution en valeur monétaire de l'ensemble des facteurs de production consommés pour la fabrication d'un produit, il est nécessaire de faire appel au concept de *coût complet* qui rassemble toutes les charges de l'entreprise engagées dans le processus de fabrication du produit. La méthode du coût complet est un mode d'évaluation du fonctionnement d'un système de production en ce sens qu'elle constitue "une forme de contrôle de l'échelle des valeurs que donne le marché à travers un système de prix"⁶⁶.

En effet, la comparaison entre le prix de vente donné par le marché et le coût de revient complet calculé par l'entreprise donne une première indication sur la rentabilité du produit et sur l'efficacité du processus de production. Dans ce but, les coûts complets peuvent être calculés ex post et constitueront alors un instrument de contrôle de l'évolution des conditions d'exploitation par produit, atelier ou centre d'activité. Ils peuvent également être calculés ex ante afin d'estimer une marge prévisionnelle utilisée pour évaluer les bénéfices à venir et hiérarchiser les produits à fabriquer.

Ce coût prévisionnel est parfois érigé en norme et prend alors le nom de coût préétabli (ou de coût standard)⁶⁷. Le coût complet standard devient alors un objectif normatif à respecter, et les écarts avec les coûts réels mesurés sont analysés et corrigés. Notons que pour A. Burlaud et C. Simon, la méthode des coûts complets est bien sûr très analytique mais également "fortement empreinte de cartésianisme" en ce sens qu'elle respecte les

⁶⁶ A. BURLAUD et C. SIMON : *Analyse des coûts et contrôle de gestion*, Vuibert, 1981, p. 22.

⁶⁷ *Idem*, p. 23.

préceptes de prudence, de décomposition, de démarche ordonnée et de généralité⁶⁸. Notons aussi que cette méthode est selon ces auteurs surtout efficace d'une part dans un univers stable pour lequel les différentes variables qui composent les coûts sont proches d'une moyenne habituelle et connue, et d'autre part lorsque les charges indirectes distribuées au prorata de clefs de répartitions toujours plus ou moins arbitraires représentent une part peu importante de l'ensemble des coûts.

Un coût complet est constitué de différents types de coûts dits partiels et parmi lesquels on distingue essentiellement les coûts directs et indirects, et les coûts variables et fixes.

La distinction entre coût direct et coût indirect dépend du lien de causalité qui peut exister entre l'origine du coût et le produit fabriqué. Ainsi un coût sera direct par rapport à un produit "s'il est causé, sans ambiguïté et sans hésitation, par l'existence ou l'élaboration du produit"⁶⁹. Dans le cas contraire, et en particulier lorsqu'un calcul est nécessaire pour affecter le coût ou une fraction de ce coût à un produit, il sera dit indirect. Cette classification des gestionnaires correspond à la distinction des économistes entre facteur général qui intéresse le processus de production dans son ensemble, et facteur spécial qui est un élément d'intrant affectable à une unité de produit déterminée⁷⁰.

Ce critère de classement est cependant relativement inconstant. Ainsi, le salaire d'un chef d'atelier est un coût indirect par rapport à chaque produit fabriqué dans son atelier, mais devient direct si l'atelier ne fabrique plus qu'un seul produit. Il dépend de plus des moyens de mesure mis en place : la consommation d'électricité des machines par exemple est un coût indirect qui devient direct si l'on place un compteur individuel devant chaque machine. Plus généralement, le suivi des coûts indirects nécessite le découpage de l'entreprise en centres d'analyses (ou sections) qui sont des compartiments d'ordre comptable dans lesquels sont groupés préalablement à leur imputation au coût de revient d'un produit les différents éléments de charge qui ne peuvent pas être directement affectés. Nous analyserons dans la section suivante la nature des structures de suivi et de contrôle des coûts classiquement utilisées en entreprise.

⁶⁸ *Ibid.*

⁶⁹ G. BAGLIN et alii : *Gestion de la production et des stocks*, Weka Gestion, 1989, Partie 9, p. 2.

⁷⁰ *Cf. supra* p. 91.

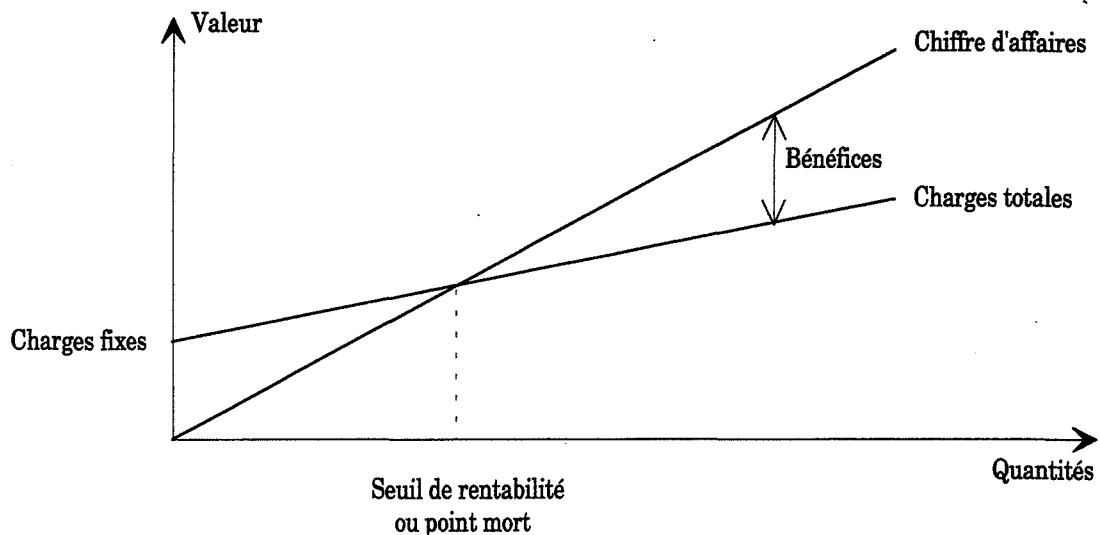
Nous avons aussi noté qu'il est d'usage dans la théorie micro-économique néoclassique de distinguer les coûts fixes des coûts variables. Le gestionnaire établit également cette dichotomie fondée sur le comportement des coûts lors des variations du niveau d'activité de l'entreprise. Ainsi, un coût sera qualifié de variable si son montant varie en proportion de l'activité⁷¹. Les coûts variables correspondent essentiellement aux coûts des matières premières achetées, aux coûts des salaires pour la main d'oeuvre dont l'effectif est proportionnel aux quantités à produire et à l'énergie utilisée pour la fabrication.

En revanche, les coûts fixes sont réputés indépendants du niveau de production. Ils se rapportent par exemple aux salaires des personnels d'encadrement ou encore à l'amortissement des machines et des bâtiments. Il faut toutefois noter que ces coûts ne restent fixes qu'entre certaines limites de niveaux d'activité, et qu'au delà de ces limites ils varient en général par palier (par exemple, embauche d'une personne d'encadrement supplémentaire, ou achat d'une machine).

Cette distinction entre coût fixe et coût variable est très utilisée par les gestionnaires car elle permet en particulier d'évaluer la performance d'une activité à travers les concepts de marge sur coût variable et de point mort.

La marge sur coût variable est définie par la différence entre le prix de vente d'un produit et la valeur des charges variables qui ont été mises en oeuvre pour sa fabrication. Cette marge est également appelée contribution unitaire car elle contribue à couvrir les frais fixes de structure de l'outil de production. Le bénéfice (ou la perte) d'une période est égal au chiffre d'affaires (prix de vente unitaire multiplié par la quantité) moins le coût total, qui est la somme des frais fixes et du produit de la quantité par le coût variable. Le bénéfice s'exprime donc par la part de la marge sur coût variable qui excède le montant des coûts fixes à couvrir, ce qui se représente par le schéma suivant dans le cas où les frais variables varient linéairement avec la quantité produite :

⁷¹ G. BAGLIN et alii, *op. cit.*, Partie 9, p. 3.



Graphique 6 : Représentation du seuil de rentabilité

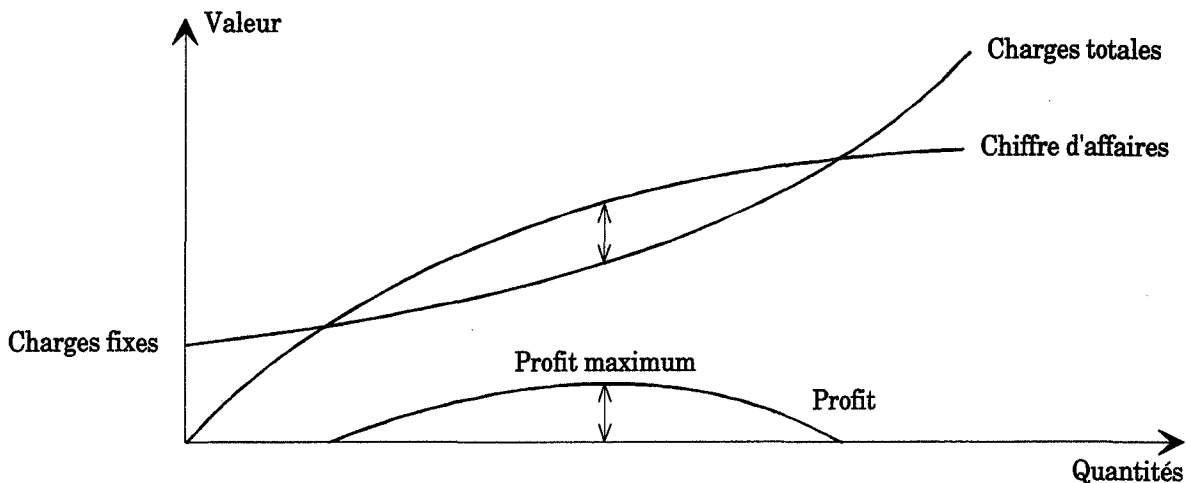
Remarquons que le seuil de rentabilité, défini par le point à partir duquel des bénéfices sont dégagés est une notion qui correspond davantage à un objectif de survie qu'à une recherche de maximisation de profit.

Les hypothèses de ce modèle méritent d'autre part quelques remarques. Ainsi, le fait de représenter la courbe du chiffre d'affaires par une droite signifie que le prix de vente unitaire est indépendant de la quantité vendue. Pour A. Burlaud et C. Simon, "cela serait exact sur un marché pur et parfait où le prix de vente unitaire serait une variable exogène pour l'entreprise, déterminé par l'équilibre global de l'offre et de la demande. En réalité, il existe plusieurs types de clientèles pour un même produit dont la sensibilité au prix n'est pas la même. Sauf dans quelques cas particuliers (...), il n'y a donc généralement pas unicité du prix de vente, même dans la firme monoproduit"⁷². Afin de respecter des hypothèses plus réalistes, mais en nous éloignant en conséquence de la théorie micro-économique de base, nous pouvons donc représenter le chiffre d'affaires en fonction de la quantité par une courbe de dérivée décroissante qui exprime que le prix de vente unitaire diminue avec la quantité vendue.

De même, les coûts des facteurs ne sont pas indépendants des quantités. Nous avons vu que selon l'hypothèse des rendements décroissants, le coût moyen d'une unité en fonction du volume de production finit par augmenter, car au delà d'un certain volume, les facteurs

⁷² A. BURLAUD et C. SIMON : *Analyse des coûts et contrôle de gestion*, op. cit., p. 80.

variables utilisés sont moins productifs. Aussi la courbe linéaire de charges totales du modèle précédent peut être remplacée par une courbe à dérivée croissante représentative de ce phénomène de rendements décroissants, ce qui donne finalement le graphique suivant⁷³ :



Graphique 7 : Détermination de la décision de production optimale en fonction du chiffre d'affaires et des charges totales

A partir de ces deux courbes, on obtient par différence une courbe de profit en fonction de la quantité qui nous indique le niveau d'activité permettant de maximiser le profit à structure donnée. Il est également envisageable de rechercher une position intermédiaire entre la maximisation du profit et celle du chiffre d'affaires, ce qui pourrait correspondre à un compromis entre les objectifs des actionnaires et des dirigeants⁷⁴.

Ce type d'analyse fondé sur les coûts est une méthode d'aide à la décision pour le gestionnaire qui souhaite positionner un niveau d'activité sur ses différents produits. Lorsqu'il veut améliorer encore la rentabilité de son entreprise, il doit ensuite agir sur l'efficacité des facteurs mis en oeuvre, c'est-à-dire effectuer une analyse en terme de productivité.

⁷³ Cf. A. BURLAUD et C. SIMON, p. 81.

⁷⁴ L'approche mathématique de ce compromis est traitée par G. KOENIG dans *Les théories de la firme*, op. cit., p. 29 et suivantes.

1.2 La recherche de productivité

Nous avons vu que du point de vue économique l'entreprise était d'autant plus apte à atteindre son objectif, qu'elle était capable de produire plus de richesses en consommant moins. Cette démarche mène l'entreprise à décliner ses objectifs de profit en terme de marge ou de productivité : "comme la substance économique de l'entreprise est d'augmenter la valeur, la mesure de son efficacité économique sera homogène à une marge (la marge globale : valeur produite moins valeur consommée) ou à un ratio de productivité (productivité globale de toutes les ressources : valeur produite divisée par valeur consommée)"⁷⁵.

Cependant, cette productivité globale "se heurte à un dilemme logique apparemment inextricable : la productivité est censée mesurer l'efficacité physique d'un système productif. Si on la rapporte à une seule ressource (par exemple les heures de travail direct), cela est relativement simple : il suffit de diviser la production par le nombre d'unités physiques consommées de la ressource en question"⁷⁶. Mais comme le note M. Albouy, "en rapportant la totalité d'une production à un seul facteur de production, on n'obtient qu'une indication *fragmentaire* qui ne permet pas de juger si les responsables de l'entreprise ou de l'unité ont réellement cherché et sont effectivement parvenus à trouver la *combinaison optimale des facteurs de production*"⁷⁷. La productivité est donc bien différente de l'efficacité physique ou "rendement d'un facteur", comme l'illustre bien la position relative des courbes de coût de courte et de longue période autorisant la sous-utilisation d'un équipement au profit d'un gain plus global. Elle doit en conséquence être mesurée en prenant en considération tous les facteurs, ce qui pose naturellement le problème de l'agrégation de grandeurs de nature différentes, ainsi que celui du passage du local au global : "le problème reste entier de donner à tous les acteurs de l'entreprise une même vision de l'efficacité économique, d'asseoir les indicateurs globaux de productivité sur les progrès locaux, et de donner aux résultats sectoriels une confirmation au niveau du résultat société"⁷⁸.

Il faut donc utiliser "un système d'évaluation qui permette de rendre les choses comparables, c'est-à-dire, de calculer d'un côté la valeur de l'ensemble des produits

⁷⁵ P. LORINO : *L'économiste et le manager*, op. cit., p. 98.

⁷⁶ *Idem*.

⁷⁷ M. ALBOUY : *La régulation économique dans l'entreprise*, op. cit., p. 145.

⁷⁸ Commissariat Général du Plan : "La performance globale : outils et évaluation", Rapport du groupe de prospective présidé par J. BARRAUX, La documentation française, octobre 1994, p. 23.

fabriqués, de l'autre la valeur de l'ensemble des facteurs utilisés"⁷⁹. Pour réaliser cette addition la méthode classique consiste à valoriser les facteurs en unités de monnaie. "Mais on est alors contraint de passer par un système de prix, qui peut inclure des prix de cession interne arbitraires ou connaître des variations spéculatives brutales, de nature à fausser totalement l'évaluation du système productif, dont on ne mesure plus seulement l'efficacité physique, mais aussi la chance au regard des variations relatives de prix"⁸⁰. Pour s'affranchir de ces distorsions, et donc pour découpler la productivité du profit final de l'entreprise, des méthodes ont été mises au point, dont la méthode des *comptes de surplus* qui permet la comparaison d'une année sur l'autre de deux indices de productivité globale⁸¹ valorisés aux prix d'une même année de référence. Ces techniques permettent de déterminer la contribution des variations de productivité, c'est-à-dire de l'évolution de la somme consolidée des efficacités physiques des différents facteurs, à la progression de la marge de profit de l'entreprise.

La théorie néoclassique établit toutefois quant à elle une distinction entre productivité du capital et productivité du travail. A court terme, l'amélioration de la rentabilité passe par une action sur la productivité du travail, l'équipement en machines étant considéré comme un facteur fixe. A plus long terme, il est possible d'agir sur le taux de mécanisation de l'atelier, en particulier selon une logique de substitution du capital au travail. C'est pourquoi nous allons à présent détailler cette branche du calcul économique qui mène à la configuration en matériel d'un système de production.

2. L'investissement

2.1 Définitions

L'investissement (ou formation brute de capital fixe) est défini comme le flux qui s'ajoute chaque année sous forme d'équipements neufs au capital productif. Dans la

⁷⁹ *Idem.*

⁸⁰ P. LORINO : *L'économiste et le manager*, op. cit. p. 98.

⁸¹ La productivité globale au cours d'une année est alors définie par le rapport $p.P_n / f.F_n$ où P_n et F_n sont les volumes des produits vendus et des facteurs consommés au cours de l'année n , et p et f les systèmes de prix des produits et des facteurs au cours d'une année de référence. (Cf. M. ALBOUY p. 147 à 159 ou P. LORINO p. 99.)

pratique, on distingue les investissements de remplacement, qui ont pour objet de compenser l'usure des équipements en place et dont la dépréciation en capital est mesurée à travers l'amortissement, et les investissements nets qui correspondent véritablement à la création d'équipements supplémentaires. Dans le cadre de la théorie micro-économique néoclassique, l'investissement correspond à des décisions de longue période qui ont pour but d'augmenter le profit de l'entreprise par déplacement de la courbe de coût. Appelés "immobilisation" dans la terminologie comptable, les facteurs concernés par une action d'investissement possèdent les caractéristiques des facteurs que nous avons qualifiés de *fixes* ou encore de *temporairement fixes*, selon l'horizon de décision⁸² : un certain degré d'irréversibilité et une durabilité.

L'investissement net peut ensuite être subdivisé selon un certain nombre de classes parmi lesquelles on distingue⁸³ :

- les investissements en recherche et développement, visant à favoriser le développement de nouvelles techniques, de nouveaux outils ou de nouveaux produits,
- les investissements d'innovation liés au développement d'activités nouvelles, visant à augmenter les ventes ou à diversifier les gammes de produits,
- les investissements d'accroissement de capacité pour augmenter le potentiel des moyens de production,
- les investissements dits "de productivité" destinés à améliorer l'efficacité (parfois locale) d'une opération. Très souvent, il s'agit d'améliorer la productivité du travail, et de remplacer, selon le principe de substitution, une quantité de facteur travail par une quantité moins coûteuse de facteur capital.

Les deux derniers points sont en correspondance forte avec l'approche micro-économique néoclassique, car l'investissement de capacité permet d'augmenter les quantités produites jusqu'au point d'équilibre marginal, et l'investissement de productivité permet de trouver la courbe de coût de courte période la mieux adaptée au volume à produire.

De même, dans l'approche Keynésienne, le choix d'investissement sera dicté par une comparaison entre son coût et ce qu'il va rapporter : "quand un homme achète un bien de

⁸² Cf. *supra*, p. 72.

⁸³ Cf. par exemple G. BAGLIN et alii, *op. cit.*, Partie 14, p. 2.

capital ou investissement, il achète le droit à la série de revenus escomptés qu'il espère tirer pendant la durée de ce capital de la vente de sa production, déduction faite des dépenses courantes nécessaires à obtenir ladite production"⁸⁴.

Aussi, l'aide à la décision d'investissement s'appuie sur un certain nombre de techniques de calcul fondées sur les valeurs des dépenses et des recettes induites par l'achat, la mise en place et l'utilisation du nouveau matériel, et que nous allons à présent détailler.

2.2 Calcul économique d'investissement

Nous nous intéressons ici à l'étape du processus de décision d'investissement qui consiste à évaluer le projet en décrivant ses caractéristiques sous un aspect économique. La mise en oeuvre d'une installation nouvelle va en effet modifier le comportement du système de production et va donc faire varier les quantités des différents facteurs de production utilisés ainsi que des produits fabriqués. Le calcul économique néoclassique utilise des fonctions mathématiques d'évaluation pour traiter les effets en valeur de ces variations d'intrant et d'extrant, de façon à juger de l'opportunité d'un projet d'investissement, et pour comparer plusieurs projets entre eux.

Ces fonctions d'évaluations sont fondées sur la description sur plusieurs périodes successives des dépenses et des recettes induites par l'opération d'investissement. La première dépense considérée est le prix que l'entreprise doit payer pour acquérir l'immobilisation. Ensuite du côté des recettes, et pour suivre l'objectif de maximisation de profit, il serait envisageable de considérer les différents profits prévisionnels espérés pour chaque période. Cependant, dans le profit au sens comptable sont décomptées les dotations aux amortissements qui correspondent à l'usure et à l'obsolescence du matériel sur une période. Aussi, la comparaison entre le prix de l'équipement et les profits qui en résultent amènerait à compter deux fois l'investissement⁸⁵. C'est pourquoi la fonction d'évaluation est construite non pas à partir des marges de profit net escomptées mais à partir du bénéfice brut représenté par des flux de trésorerie prévisionnels induits par l'investissement. Ce flux de trésorerie décrit les décaissements et les encaissements sous la forme d'une suite de valeurs négatives et positives.

⁸⁴ J. M. KEYNES : La théorie générale, Petite Bibliothèque Payot, 1971, p. 149.

⁸⁵ Cf. G. BAGLIN et alii, *op. cit.*, Partie 14, Chapitre 2, p. 2.

Il faut ensuite choisir une méthodologie pour intégrer les différentes annuités de ce flux de trésorerie, en intégrant l'élément temps, afin d'obtenir un instrument de mesure de la rentabilité d'un investissement. La nécessité de prendre en compte le temps résulte d'une préférence générale des agents économiques pour les recettes obtenues dans le présent par rapport aux recettes escomptées dans le futur⁸⁶. Cette préférence est liée à différents phénomènes comme l'incertitude associée à l'avenir ou le relèvement général des prix par des effets d'inflation et qui déprécie à l'avance la recette positionnée dans le futur. Cette tendance est reflétée par un certain nombre d'indicateurs économiques, dont les taux d'intérêts qui résultent des diverses transactions financières effectuées par les agents économiques qui intègrent une certaine appréciation des risques et une certaine spéculation sur l'inflation⁸⁷.

Dans le modèle de Walras, un taux d'intérêt unique résulte de la confrontation de l'ensemble des prêteurs et de l'ensemble des emprunteurs dans le cadre d'une organisation conflictuelle parfaitement concurrentielle. Dans la pratique, ces taux d'intérêts sont multiples et dépendent de la durée et de l'objet du financement, ainsi que de relations conflictuelles imparfaitement concurrentielles. A l'intérieur de l'entreprise, il faut choisir pour la fonction d'évaluation un taux d'actualisation qui reflète en partie la tendance donnée par les indicateurs externes de type taux d'intérêt, mais qui intègre également la situation financière interne et notamment l'état de la trésorerie et le taux d'endettement.

Chaque entreprise doit donc décider du taux d'actualisation qu'elle retient et on trouve dans la littérature de nombreuses possibilités de choix. A titre d'exemple⁸⁸, on peut retenir le taux de rentabilité marginal des investissements, c'est-à-dire le taux de rentabilité auquel on pourrait investir dans d'autres projets productifs comme le taux du marché obligataire, le taux de rapport des valeurs mobilières ou le taux de rentabilité actuel des investissements déjà réalisé. On peut également prendre le rendement du capital comme taux d'actualisation, mais il faut alors distinguer les capitaux propres dont l'objectif de rendement dépend de la prise de risque acceptée, des capitaux empruntés dont le coût dépend des taux d'intérêts.

Le taux d'actualisation retenu est ensuite utilisé pour calculer l'équivalence entre une somme S_n reçue au bout de n périodes et sa valeur actuelle notée V et qui s'exprime en fonction du taux d'actualisation t par la formule :

⁸⁶ M. ALBOUY : *La régulation économique dans l'entreprise*, op. cit., p. 234.

⁸⁷ *Idem*, p. 237.

⁸⁸ G. BAGLIN et alii, op. cit., Partie 14, Chapitre 2, p. 8.

$$V = \frac{S_n}{(1 + t)^n}$$

Une première fonction d'évaluation, appelée valeur actualisée nette (VAN), est constituée par la somme des valeurs actualisées des flux de trésorerie de chaque période :

$$\text{Sur un horizon de } m \text{ périodes, } VAN = \sum_{n=0}^m \frac{S_n}{(1 + t)^n}$$

Cette fonction donne un critère de choix entre deux investissements, puisque celui qui obtient la valeur actualisée nette la plus importante amènera le plus de bénéfices pour l'entreprise.

Une autre méthodologie similaire à la précédente sur le plan conceptuel consiste à rechercher le taux d'actualisation pour lequel la valeur actualisée nette soit nulle, ce qui permet de s'affranchir du problème de choix du taux d'actualisation. Le taux d'actualisation t est la solution de l'équation :

$$\sum_{n=0}^m \frac{S_n}{(1 + t)^n} = 0$$

Ce taux est appelé taux de rentabilité interne et la méthode consiste alors à prendre en priorité l'investissement dont le taux de rentabilité interne est le plus élevé. Ce taux peut également être comparé à un taux de référence déterminé pour l'entreprise qui sert d'indicateur de gestion et en dessous duquel les propositions d'investissements ne sont pas retenues.

Une troisième méthode consiste à considérer le délai de récupération de l'investissement, c'est-à-dire le nombre de périodes à partir duquel la somme des valeurs du flux de trésorerie est nulle. Cette somme peut également être actualisée pour prendre en considération une dépréciation de la valeur en fonction de l'éloignement dans le temps. Comme les méthodes précédentes, cette fonction d'évaluation permet de comparer deux investissements pour conserver celui qui retourne la mise initiale le plus rapidement, ou encore permet de ne retenir que les projets d'investissement dont le délai de récupération est inférieur à un seuil fixé.

G. Lambert⁸⁹ note cependant en se référant à H. Simon que cette approche diffère fondamentalement des précédentes par la conception de la rationalité qu'elle implique. En effet, la recherche en environnement instable d'un délai de récupération court constitue un critère de prudence proche d'une rationalité de type procédurale⁹⁰. Ce processus de décision s'adapte mieux au contexte d'information limitée en privilégiant le retour rapide à la liquidité du capital, réduisant ainsi le caractère irréversible de la décision d'investissement : "dans un contexte d'instabilité de l'environnement, la trésorerie constitue une source perpétuelle de financement d'investissement, et donc, d'adaptation de la firme aux incertitudes"⁹¹. A l'opposé, les méthodes fondées sur le principe d'actualisation d'un flux de trésorerie sur la durée de vie complète du projet sont moins flexibles au sens de la préservation des possibilités de choix futurs. Elles entrent dans le cadre d'une rationalité de type substantive qui rend possible l'estimation de la rentabilité de l'investissement grâce à un accès complet à l'information au moment du choix, sans se préoccuper de sa réversibilité.

Au delà de ces fonctions d'évaluation fondées sur la manipulation des flux de trésorerie, et pour traiter le cas d'un investissement de capacité, A. Burlaud et C. Simon⁹² proposent une approche de la décision en investissement dérivée de la théorie marginaliste et utilisant comme celle-ci les coûts marginaux. Dans leur modèle, les hypothèses de base de la théorie néoclassique sont modifiées en ce sens que le prix n'est plus considéré comme constant et fixé par le marché, et que le coût marginal ne suit pas forcément une loi de rendements croissants puis décroissants. Aussi, la droite horizontale représentant le prix devient une courbe qui rend compte du fait que le prix est fonction de la quantité et qu'il dépend d'actions commerciales en direction du marché. De même, le coût marginal n'est plus représenté par une courbe en U mais peut prendre différents profils successifs qui reflètent des phases alternées de rendements décroissants ou croissants. D'autre part, l'investissement n'est pas interprété par un déplacement d'une courbe sur une autre mais est intégré dans la courbe de coût marginal comme le montre le graphique suivant⁹³ :

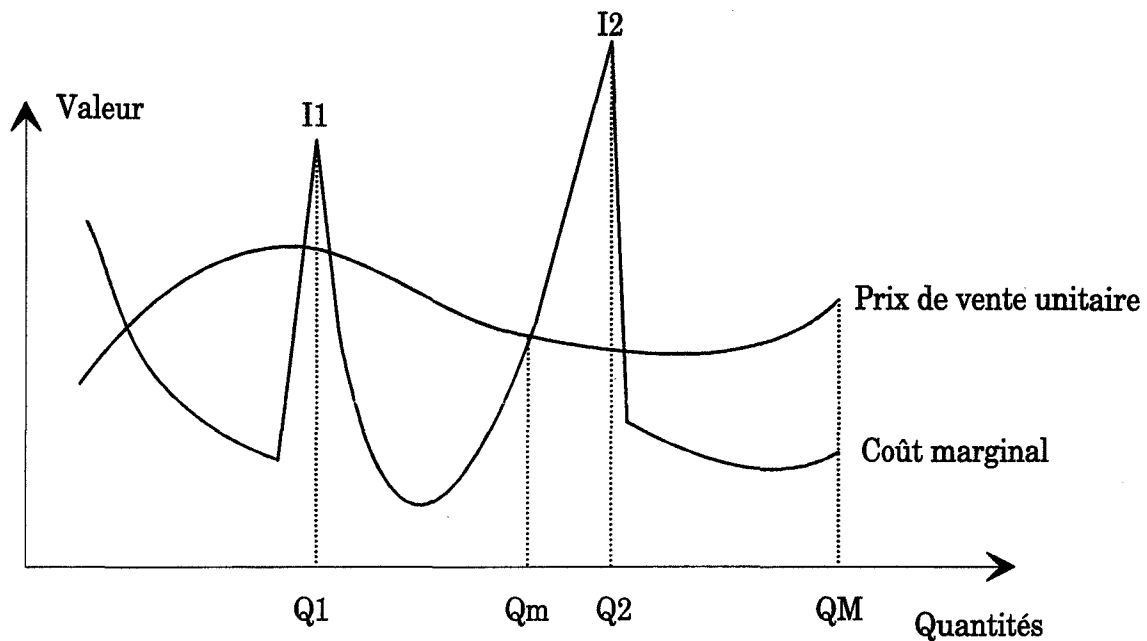
⁸⁹ G. LAMBERT : "Décision d'investissement et processus adaptatifs : Vers un élargissement de la rationalité de la firme", in *Gestion Industrielle et Mesure Economique - Ecosip*, Economica, 1990, p. 104.

⁹⁰ Cf. *supra* Chapitre 1, section 3, 2.1.

⁹¹ *Idem*, p. 102.

⁹² A. BURLAUD et C. SIMON : *Analyse des coûts et contrôle de gestion*, op. cit., p. 94.

⁹³ *Idem*, p. 95.



Graphique 8 : Décision d'investissement à partir des coûts marginaux et des prix de vente unitaires

Selon cette méthode d'évaluation, l'investissement ne sera retenu que si le coût différentiel d'un accroissement de la production rendu possible par l'augmentation de la capacité de production est inférieur à l'accroissement du chiffre d'affaires, participant ainsi à une augmentation du résultat⁹⁴.

Sur l'exemple proposé, l'outil de production initial arrive à saturation à partir de la quantité Q_1 . L'accroissement de capacité résultant d'un investissement I_1 est incluse directement dans la courbe de coût et induit au départ une hausse du coût marginal qui correspond à une sous-utilisation de l'équipement. Une fois l'investissement I_1 réalisé, l'optimum de profit est obtenu pour la quantité Q_m dont le coût marginal est égal au prix de vente. Il n'y a pas d'intérêt à utiliser l'équipement en saturation c'est-à-dire à produire une quantité Q_2 car le coût marginal y dépasse le prix de vente, ce qui réduit les profits. En revanche, un nouvel investissement de capacité I_2 permet de maximiser le profit au point Q_M qui correspond à la quantité maximum de produit absorbée par le marché.

⁹⁴ *Ibid.*

2.3 Premières remarques sur le calcul économique d'investissement

Les différentes méthodologies d'évaluation d'investissement que nous venons de présenter méritent quelques remarques.

Tout d'abord, le calcul de la valeur actualisée nette d'un flux de trésorerie est extrêmement sensible aux paramètres que sont la durée et le taux d'actualisation. Pour préciser ce point, nous allons considérer deux projets d'investissement A et B décrits par les flux de trésorerie suivants :

Période	0	1	2	3	4	5
Projet A	-400	-200	300	500	700	700
Projet B	-900	-400	600	1000	1300	1200

Tableau 2 : Exemple de flux de trésorerie pour deux projets d'investissement

Si nous fixons le taux d'actualisation à 10 %, et si nous faisons varier l'horizon sur lequel sont calculées les valeurs actualisées nettes, nous obtenons les résultats suivants :

Horizon	3	4	5
VAN A	42	520	955
VAN B	-16	871	1306

Tableau 3 : Sensibilité de la valeur actualisée nette à l'horizon de calcul

Si l'horizon retenu pour le calcul est de trois périodes, le projet A sera choisi. Au delà, le projet B sera choisi.

Inversement, si nous fixons l'horizon de calcul à quatre périodes, et si nous faisons varier le taux d'actualisation, nous obtenons :

Taux	10%	20%	30%
VAN A	520	269	96
VAN B	871	389	58

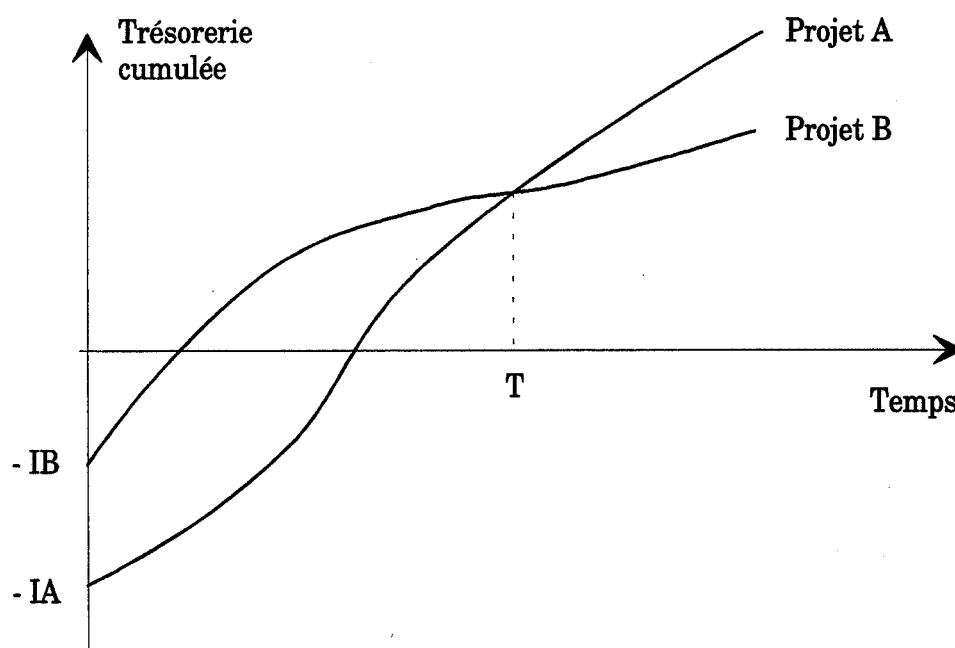
Tableau 4 : Sensibilité de la valeur actualisée nette au taux d'actualisation

Pour des taux d'actualisation de 10 % ou de 20 %, le projet B sera retenu, mais pour des taux plus forts qui favorisent le retour rapide de revenus, le projet A sera choisi.

Nous voyons donc que la méthode de la valeur actualisée nette est très sensible à la définition des paramètres de départ que sont l'horizon du calcul et le taux d'actualisation, et qui sont dans la pratique très difficiles à estimer de façon objective.

La méthode du taux de rendement interne qui est fondée sur le concept d'actualisation possède naturellement la même sensibilité vis-à-vis de l'horizon de calcul⁹⁵. Elle mènera donc également au choix d'un projet ou d'un autre selon l'horizon retenu pour le calcul.

La méthode du délai de récupération n'échappe pas à ce problème. Comparons à nouveau deux projets d'investissement A et B dont les flux actualisés de trésorerie sont décrits par les courbes suivantes⁹⁶ :



Graphique 9 : Antagonisme entre délai de récupération et valeur actualisée nette

⁹⁵ Voir par exemple à ce sujet J. M. PROTH : *Conception et gestion des systèmes de production*, PUF, 1992, p. 39.

⁹⁶ Exemple tiré de M. ALBOUY : *La régulation économique dans l'entreprise*, op. cit., p. 247.

Le critère du délai de récupération favorise ici le projet B alors qu'à partir de la date T, le projet A est plus rentable. Notons bien cependant que dans un contexte d'instabilité, la forme des courbes est de moins en moins probable au fur et à mesure de l'avancement dans le temps. Dans le cadre d'une recherche de réversibilité, le délai plus court de récupération du capital du projet B lui laisse l'avantage en préservant les possibilités de nouveaux choix futurs.

Enfin, et concernant la méthodologie fondée sur les courbes de coûts marginaux, A. Burlaud et C. Simon remarquent que l'entreprise ne peut parvenir que de façon très imparfaite à la connaissance des fonctions de coût et de prix, et que cette méthode est difficile à mettre en oeuvre dans la pratique⁹⁷.

Malgré ces difficultés, le calcul économique de fonctionnement et le calcul économique d'investissement existent nécessairement au quotidien dans l'entreprise, et nous allons détailler à présent quelles structures organisationnelles de gestion ont été mises au point à l'intérieur de la firme pour rendre opérationnels ces outils de calcul économique.

⁹⁷ A. BURLAUD et C. SIMON : *Analyse des coûts et contrôle de gestion*, op. cit., p. 96.

SECTION 3 : PRINCIPES ET STRUCTURES DE GESTION

Nous allons aborder en premier lieu les principes de base sur lesquels sont fondées les techniques usuelles de gestion des organisations productives, puis nous décrirons quelques structures organisationnelles classiquement associées à ces principes. Nous montrerons ainsi que les organisations productives ont été fortement structurées par une approche économique statique comparative et par des outils de gestion normatifs.

1. Principes du contrôle de gestion traditionnel

Les techniques de contrôle de gestion classiques ont été développées essentiellement au début du siècle dans l'industrie. En particulier, la firme Du Pont de Nemours est fréquemment citée comme lieu de départ de la mise en place des premières structures de contrôle de gestion. P. Lorino⁹⁸ indique en particulier que c'est dans cette entreprise que fut inventée la formule qui relie le taux de rentabilité du capital (retour sur l'investissement), le taux de profitabilité de l'exploitation et le taux de rotation du capital.

Nous allons décrire ce point de départ du contrôle de gestion, puis nous montrerons l'importance de l'utilisation de la norme et du standard dans cette démarche.

1.1 Les concepts de gestion du Taylorisme et du Fordisme

Pour arriver à relier rentabilité, profitabilité et taux de rotation, il faut mettre en place un système de comptabilité analytique permettant d'accéder à des coûts complets, et pas seulement à des coûts directs⁹⁹ comme le faisaient les méthodes comptables initiales. Pour cela, l'entreprise Du Pont de Nemours a défini des règles d'affectation des coûts indirects par familles de produits selon un système de clefs de répartition. Cet outil a mené au contrôle de la performance produit par produit et a permis de surveiller l'efficacité opérationnelle de l'entreprise. Cependant, le calcul de cette marge sur coût complet ne donnait pas à l'actionnaire une information complète sur l'efficacité de l'utilisation du capital investi. Pour accéder à ce taux de rentabilité, il fallait ajouter au modèle le ratio de retour

⁹⁸ P. LORINO : *Le contrôle de gestion stratégique*, Dunod, 1991, p. 7.

⁹⁹ P. LORINO : *L'économiste et le manager*, Editions La Découverte, 1991, p. 34.

sur investissement défini par le rapport entre la marge de profit et le capital concerné. Ce ratio devait être calculé par ligne de produit afin de connaître la contribution de chaque ligne à la rentabilité. Cela nécessitait en particulier le développement d'un système comptable pour estimer la valeur de chaque actif et l'affecter à un type de produit. L'entreprise mit en place ce système et put fournir pour chaque ligne de produit les coûts complets et les taux de rentabilité du capital investi dans le produit.

D'une part, ce système de gestion permet de donner le coût complet des produits fabriqués, grâce à des clefs de répartition des coûts indirects en fonction des coûts directs. D'autre part, il permet de mesurer le taux de rentabilité du capital investi grâce à un système d'évaluation de la valeur du capital. Il utilise enfin une formule qui permet de relier le taux de rentabilité (bénéfice net rapporté aux capitaux investis), le taux de profit (bénéfice net rapporté au chiffre d'affaires) et le taux de rotation du capital (chiffre d'affaires rapporté aux capitaux investis)¹⁰⁰ :

$$\frac{\text{Bénéfice net}}{\text{Capitaux investis}} = \frac{\text{Bénéfice net}}{\text{Chiffre d'affaires}} \times \frac{\text{Chiffre d'affaires}}{\text{Capitaux investis}}$$

Ainsi grâce à ce modèle, "pour la première fois, les divers types de comptabilité utilisés jusqu'alors de manière séparée (comptabilité de capital, comptabilité financière et comptabilité de coûts) étaient bouclées en un modèle unique, global et cohérent, et constituaient une image économique complète de l'entreprise"¹⁰¹.

La construction de ce modèle est en réalité très inspirée des enseignements de F. Taylor qui fut un des pionniers du contrôle de gestion industriel, en développant la comptabilité analytique, le contrôle des coûts directs, le chronométrage et le suivi des temps de main d'oeuvre direct, les temps standard, l'allocation des coûts indirects selon des clefs de répartition, la gestion des stocks et des matières et la rémunération au rendement¹⁰².

Ce modèle de gestion, qui peut donc être qualifié de taylorien, repose selon P. Lorino sur quatre principes de base¹⁰³ :

¹⁰⁰ Cf. P. L. BRODIER : "La productivité n'est pas ce que vous croyez", *Harvard-L'expansion*, Automne 1992, p. 31.

¹⁰¹ P. LORINO : *Le contrôle de gestion stratégique*, op. cit., p. 7.

¹⁰² Cf. P. LORINO, p. 8.

¹⁰³ *Idem*, p. 9.

- une règle de stabilité qui suppose d'une part que l'on ne revient pas sur l'objectif de maximisation de profit qui caractérise la performance de l'entreprise, et d'autre part que les mécanismes et les savoirs opérationnels qui permettent d'être efficace et d'atteindre cette performance sont également stables dans le temps ;
- un contexte d'information parfaite, qui rejoint l'hypothèse de base de la théorie économique néoclassique et l'étend à l'intérieur de l'entreprise : le dirigeant possède une connaissance complète des processus opératoires et des mécanismes de performance du système qu'il pilote ;
- une identification de la performance productive à la minimisation des coûts : comme dans la théorie néoclassique, le prix de vente des produits est donné par le marché, de sorte que l'objectif de maximisation du profit devient un objectif de minimisation des coûts des facteurs ;
- une équivalence entre le coût complet et le coût d'un des facteurs qui est dominant dans la structure des ressources consommées par l'entreprise ; ce facteur est généralement la main d'oeuvre directe et sert de ressource étalon pour la définition des normes de production.

Le respect de ces principes, qui mène au plein développement des outils tayloriens, est notamment respecté dans le modèle Fordien de production en grandes séries répétitives, qui permet de pousser très loin l'analyse des modes opératoires et le contrôle de la main d'oeuvre¹⁰⁴. La formation des coûts dans le modèle taylorien-fordien est ainsi très liée à la structure organisationnelle hiérarchique qui contrôle le fonctionnement de la firme. Chaque service contribue à la formation des coûts de façon stable et statique¹⁰⁵ : les coûts directs variables correspondent au travail des équipes de fabrication et les coûts directs fixes aux sections homogènes mécanisées, tandis que la hiérarchie administrative alimente les coûts indirects fixes. Le schéma suivant décrit ces différentes affectations¹⁰⁶ :

¹⁰⁴ Cf. J. H. JACOT et G. LAJOINIE (dir.) : *Modes d'organisation et technologie*, PUL, 1988, p. 112.

¹⁰⁵ Par opposition à l'affectation dynamique par centres d'activités et par processus stratégiques, que nous développerons dans la section 3 du chapitre 4.

¹⁰⁶ *Idem*, p. 113.

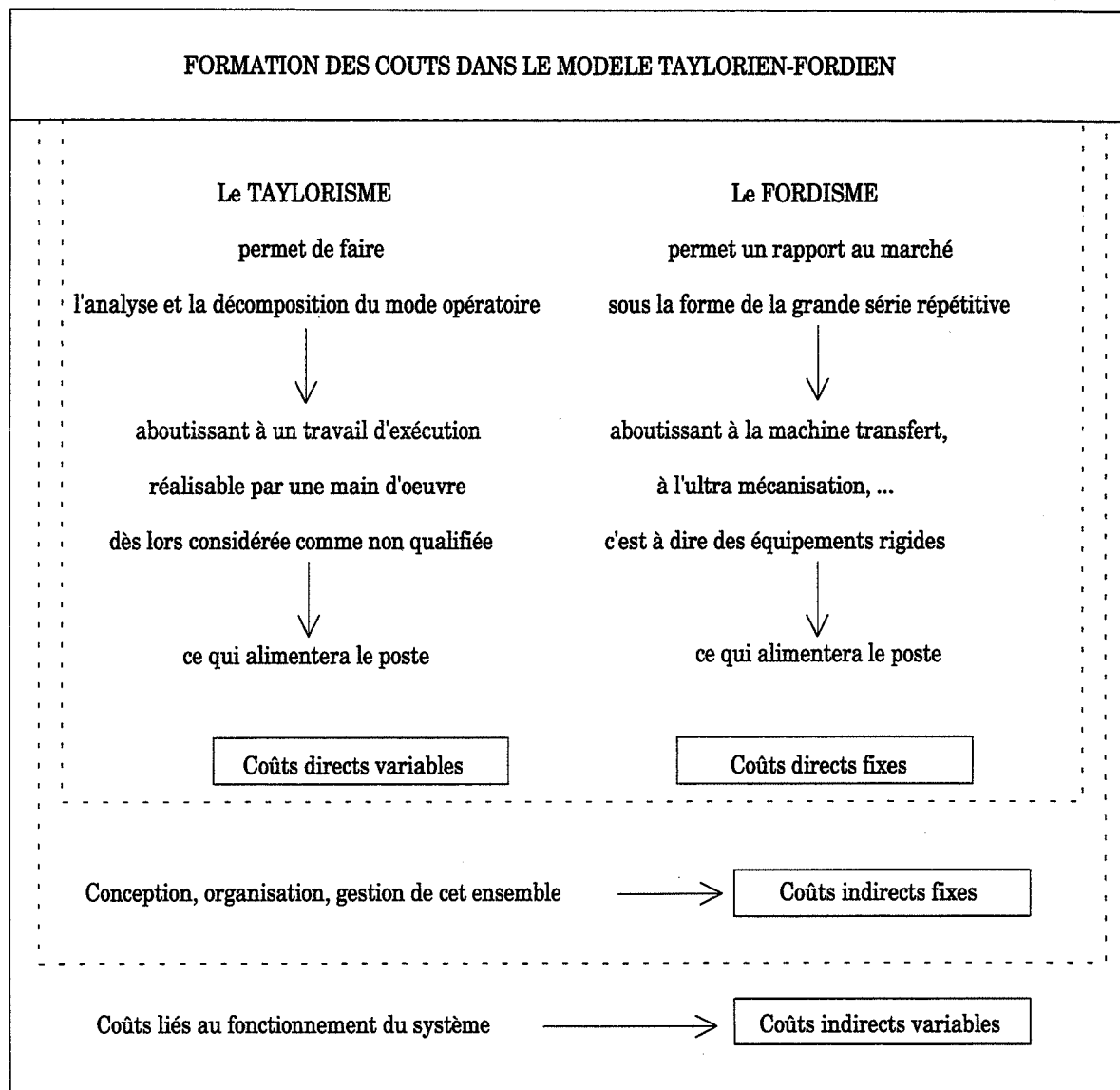


Schéma 8 : Formation des coûts dans le modèle taylorien-fordien

Un système fondé sur l'utilisation d'outils normatifs s'est ensuite développé pour assurer le contrôle de l'ensemble de ces coûts. Nous allons détailler les règles méthodologiques qui sont à la base de ces outils normatifs.

1.2 L'utilisation d'outils normatifs

L'association du principe d'identification de la performance productive à la minimisation des coûts et du principe d'équivalence entre le coût complet et le coût d'un des facteurs dominants traduit la recherche de la performance en un processus de minimisation

du coût du facteur dominant¹⁰⁷. Dans le modèle taylorien-fordien, les coûts sont essentiellement directs, qu'ils proviennent du travail d'exécution réalisé par la main d'oeuvre (coût direct variable) ou de la substitution du capital au travail à travers une démarche de mécanisation (coût direct fixe). En particulier, les coûts indirects fixes de conception, d'organisation et de gestion, ou encore les coûts indirects variables liés au fonctionnement du système restent faibles vis-à-vis des précédents, en raison de la taille très importante des séries. Minimiser le coût du facteur dominant pour atteindre l'objectif de maximisation de profit revient donc dans ce modèle à minimiser les coûts directs. Le pilotage de la performance passe alors par le contrôle de la productivité du travail direct. La problématique que nous avons présentée¹⁰⁸ autour du concept de productivité globale des facteurs se trouve ainsi fortement simplifiée par l'existence d'un type prépondérant de coût, et la productivité peut dans ce cas être assimilée au rendement physique des facteurs directs main d'oeuvre et machine.

Aussi, le calcul d'investissement dans le modèle taylorien-fordien est fortement conditionné par cette focalisation sur l'évaluation des ateliers à travers les coûts directs qu'ils génèrent, ce qui se traduit dans les industries manufacturières par une logique de substitution du capital au travail, c'est-à-dire par une tendance à la substitution des équipements au travail direct d'exécution¹⁰⁹.

Pour ce qui est du calcul de fonctionnement, le pilotage d'un système de production de ce type nécessite la mise en place d'une méthodologie de contrôle de la productivité des facteurs directs, qui s'appuie sur la règle de stabilité et le principe d'information parfaite¹¹⁰. La combinaison de ces deux principes permet l'établissement de normes de comportement fixes et stables, et la connaissance permanente des écarts par rapport au standard. Ainsi, "le diagnostic, la compréhension du système et sa performance ont déjà été réalisés, en dehors du modèle, avant et ailleurs. La performance est donc prédéfinie, hors modèle. L'objet du contrôle est simplement de s'assurer que les comportements réels sont conformes à l'optimum prédéfini. C'est le modèle du thermostat : il évalue des écarts, et réagit pour les résorber"¹¹¹. Cette méthodologie correspond donc à une réduction de variété selon un principe de régulation commandée telle que nous l'avons définie au chapitre 1. Un

¹⁰⁷ P. LORINO : *Le contrôle de gestion stratégique*, op. cit., p. 12.

¹⁰⁸ Cf. *supra* p. 95.

¹⁰⁹ M. GIBERT : *L'intégration des systèmes de production*, PUL, 1989, p. 75.

¹¹⁰ P. LORINO : *Le contrôle de gestion stratégique*, op. cit., p. 13.

¹¹¹ *Idem*.

régulateur, programmé de l'extérieur, permet de corriger les effets des perturbations qu'il détecte par des mesures d'écart. Si un niveau supérieur du contrôle de gestion possède la capacité d'agir sur les paramètres du régulateur pour redéfinir des normes et modifier sa réaction aux perturbations, nous sommes en présence d'un système ultra-stable¹¹², sinon il s'agit d'un régulateur classique¹¹³ :

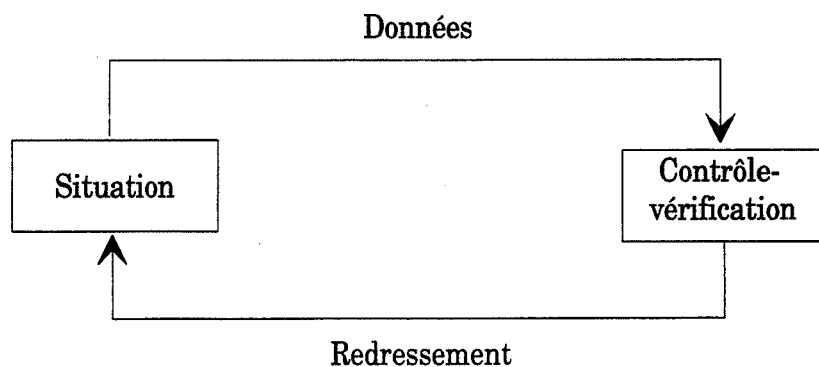


Schéma 9 : Principe de la démarche asservie du contrôle de gestion

L'outil comptable fondé autour de ce concept de régulation s'est beaucoup développé autour de la mesure, du suivi et du contrôle des coûts directs. Aussi, le contrôle de gestion va essentiellement reposer sur un certain nombre de techniques centrées sur l'information (il faut connaître à la fois les normes de gestion à atteindre et les résultats effectivement obtenus), et sur son traitement (il faut disposer de moyens pour comparer normes et réalisations)¹¹⁴.

Au niveau supérieur, l'action économique d'un dirigeant consistera à établir des normes et à contrôler l'action dans le but d'optimiser l'utilisation des ressources de l'entreprise. Au niveau inférieur, l'exécutant poursuivra un objectif de conformité aux normes établies¹¹⁵. Entre les deux, le contrôle de gestion opérationnel collectera les informations et les traitera pour mesurer les écarts.

¹¹² Au sens de R. Ashby, *cf.* chapitre 1.

¹¹³ Schéma issu de J. MEYER : *Le contrôle de gestion*, PUF, 1989, p. 51.

¹¹⁴ J. MEYER, *op. cit.*, p. 10.

¹¹⁵ *Idem*, p. 16.

La démarche globale de pilotage et de correction des écarts, qui est ici encore de type "problem solving", est décrite de façon générale par le schéma suivant¹¹⁶ :

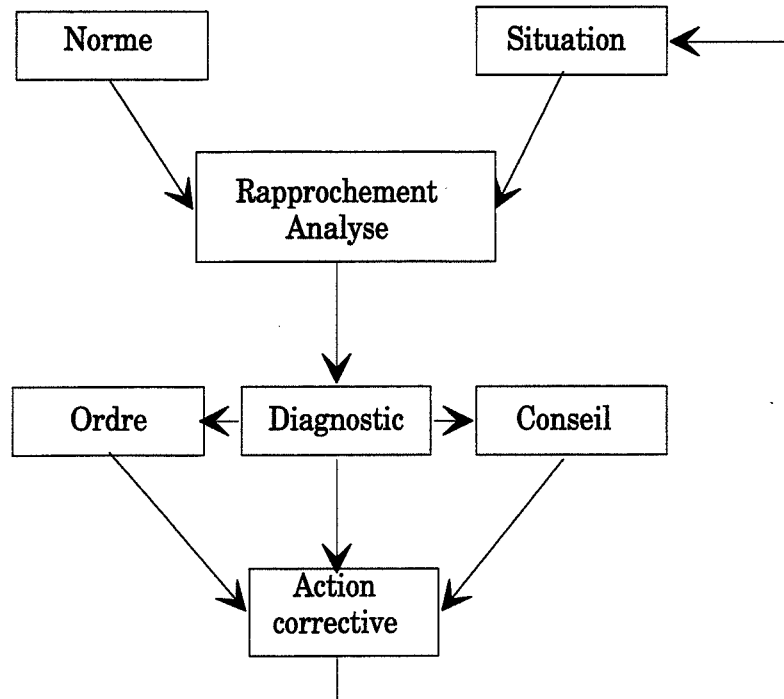


Schéma 10 : Procédure classique de contrôle de gestion

Le rapprochement entre situation réelle et norme mène à un diagnostic qui a pour conséquence possible une proposition motivée d'action (conseil) ou un ordre hiérarchique, menant l'un comme l'autre à une action corrective agissant en retour sur la situation réelle.

Nous allons illustrer à présent ce schéma général en détaillant quelques exemples classiques de structures significatives de cette conception du pilotage des systèmes de production.

¹¹⁶ *Ibid.*, p. 60.

2. Structures classiques de contrôle

Pour illustrer l'utilisation d'outils normatifs dans le contexte des concepts de gestion issus du Taylorisme et du Fordisme, nous allons étudier deux structures classiques d'information et de décision en entreprise. La première répond de façon pratique à la problématique de répartition et d'allocation de biens économiques au cours d'une période, en supposant que les équipements sont fixes. Il s'agit donc d'une approche statique, qui s'appuie sur un modèle classique de gestion de production très utilisé en industrie manufacturière. La seconde structure que nous présenterons répond quant à elle à des besoins opérationnels d'organisation. Il s'agit d'une vision descriptive de la fonction contrôle de gestion en entreprise. Nous verrons que l'une comme l'autre fonctionnent suivant des modèles de régulation hiérarchisés et normatifs.

2.1 Modèle de gestion de production

Le contrôle hiérarchique et la déclinaison d'objectifs du haut vers le bas vont servir de référence pour le pilotage des flux physiques de production. Rappelons le modèle de décision de R. Anthony¹¹⁷ décrit dans le chapitre 1 :

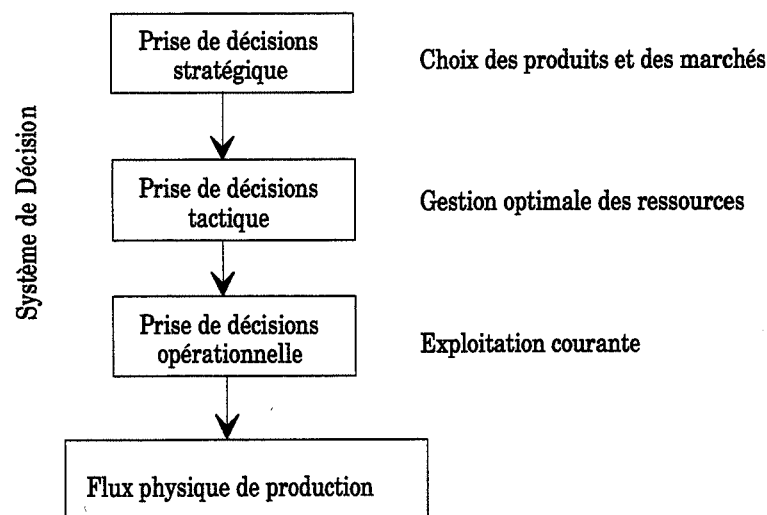


Schéma 11 : Structure des décisions par niveaux selon R. Anthony

¹¹⁷ Cf. Chapitre 1, section 3, 2.1.

Ce modèle sert de structure aux systèmes de gestion de production de type MRP¹¹⁸ qui sont parmi les plus utilisés dans l'industrie manufacturière. La méthode MRP répond au départ à une problématique de gestion des stocks et est fondée sur la distinction faite par J. Orlicky¹¹⁹ entre les besoins indépendants ou externes que sont les produits finis et les pièces détachées et les besoins dépendants ou internes que sont les matières premières, les composants et les sous-ensembles. A partir d'un carnet de commandes fermes et prévisionnelles sur les produits vendus, la méthode permet à travers un certain nombre d'informations sur le processus de fabrication (gammes, nomenclatures, ...) et sur l'état des stocks, des commandes d'achat et des en-cours, d'accéder par calcul aux besoins en ordres d'achat et ordres de fabrication. Nous ne développerons pas plus à fond le détail de cette méthode, car ce qui nous intéresse ici est davantage la structure de contrôle qu'il a fallu construire autour de la méthode de calcul des besoins (MRP1) pour la rendre effectivement utilisable dans une organisation productive.

Cette structure de contrôle connue sous la dénomination MRP2 décompose clairement les décisions en trois niveaux successifs¹²⁰ :

- un niveau stratégique appelé plan industriel et commercial qui repose sur l'évaluation prospective des ventes et où sont traitées les décisions d'accès aux marchés et de choix des produits,
- un niveau tactique nommé programme directeur de production qui découle des choix stratégiques précédents et qui gère sur un horizon temporel l'affectation optimale des facteurs variables à court terme comme la capacité main d'oeuvre, ou le volume d'heures de sous-traitance,
- un niveau opérationnel constitué par le calcul des besoins et le suivi de production, qui détermine les ordres d'achats et de fabrication et suit leur évolution.

¹¹⁸ "MRP" possède deux significations : Material Requirement Planning (MRP1), traduit par Planification des Besoins en Composants et Manufacturing Resources Planning (MRP2), concept englobant MRP1 et l'augmentant de fonctions de gestion plus larges (plan industriel et commercial, programme directeur de production, calcul des coûts, calcul des charges global et détaillé, ordonnancement d'atelier, ...) traduit par Management des Ressources de Production.

¹¹⁹ J. ORLICKY : *Material Requirement Planning : the new way of life in production and inventory management*, Mc Graw-Hill, 1975.

¹²⁰ Cf. par exemple J. MESTOUDJIAN et J. de CRESCENZO : *La gestion de production assistée par ordinateur*, Editions de l'usine nouvelle, 1986, p. 42 et suivantes.

L'ensemble est représenté par le schéma suivant :

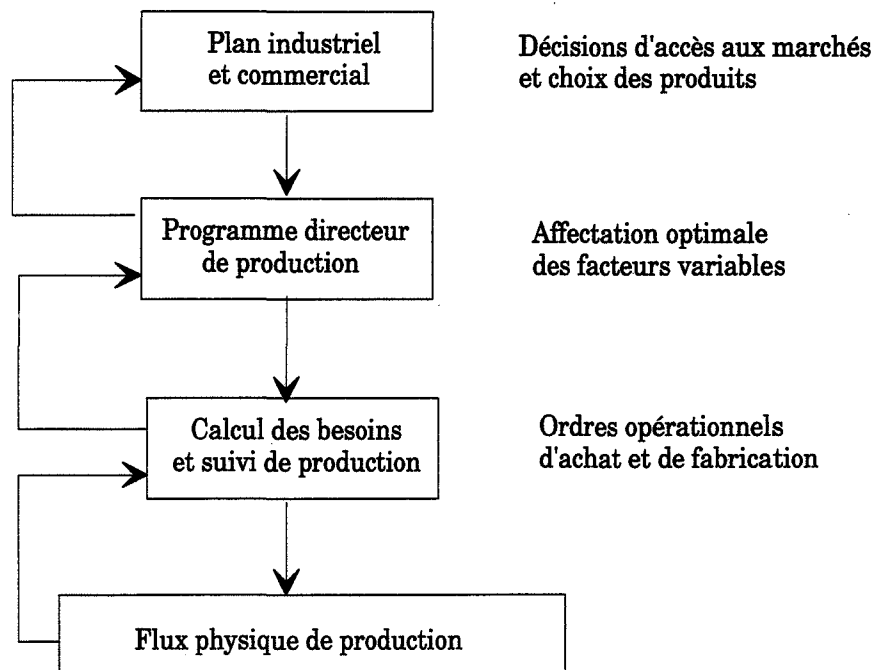


Schéma 12 : Modèle de gestion associé au concept MRP

Les processus de planification se déroulent du haut vers le bas, selon un ordre hiérarchique partant des décisions stratégiques pour aller jusqu'aux décisions opérationnelles. Il est complété par des retours d'informations liés à des mécanismes de suivi et de contrôle d'exécution par mesure des écarts.

La gestion de production traditionnelle correspond donc bien au modèle de décision de R. Anthony. Le processus de pilotage consiste à définir une norme, et à juger ensuite les écarts par rapport à cette norme afin d'engager les actions correctrices. Notons enfin que le système de décision est très séparé du flux physique de production, avec lequel il n'est lié que par des retours d'informations. Aucune décision n'a lieu a priori dans le flux physique lui-même.

2.2 Modèle de contrôle de gestion

Nous proposons d'utiliser ici l'approche de R. Anthony et J. Dearden¹²¹ qui consiste à transposer aux organisations le modèle de base de contrôle en boucle fermée¹²². Ce modèle permet en principe de mettre un système sous contrôle grâce à quatre éléments de régulation : une caractéristique à contrôler, un dispositif de mesure, un comparateur entre mesure et consigne et un mécanisme d'exécution des actions correctrices¹²³. Pour eux, tout module de contrôle d'une organisation possède ces quatre éléments essentiels. Ainsi, lorsqu'une organisation cherche à atteindre un certain état, qui est fonction de ses buts, elle compare sa situation actuelle avec sa situation souhaitée et met en route des actions si la différence est importante.

Toutefois, ils ajoutent que le fonctionnement du contrôle d'une organisation est plus compliqué qu'un simple thermostat, et ce pour quatre raisons fondamentales. La première est que l'équivalent de la consigne du thermostat est dans le cadre d'une organisation le résultat d'un processus de gestion de haut niveau qu'ils désignent sous le nom de *planification*. Dans la pratique, ce processus de gestion est très imbriqué avec le processus de contrôle, de sorte que les deux se confondent parfois. La seconde est que l'organisation possède des composants humains, ce qui entraîne d'une part que la régulation n'est pas automatique (au sens d'une machine), et d'autre part que l'évaluation de l'écart entre la réalité et la norme garde une part de subjectivité car elle est en général réalisée par des hommes avec leur rationalité propre. Ensuite, la déduction n'est pas directe entre la décision de réduire un écart et l'action à mettre en oeuvre pour y parvenir, en particulier en raison des comportements anti-intuitifs propres aux systèmes complexes. Enfin, le contrôle d'une organisation nécessite une certaine coordination pour assurer que chaque partie du système oeuvre dans le bon sens.

En conclusion, pour R. Anthony et J. Dearden, le contrôle d'une organisation ne se réalise en fait pas seulement selon un modèle de régulation commandé classique, mais laisse également une grande part à ce que nous avons appelé plus haut la régulation libre¹²⁴. En pratique, cela signifie que les membres de l'organisation agissent fréquemment non pas sur

¹²¹ R. ANTHONY et J. DEARDEN : *Management control system - Text and cases*, R. Irwin inc., 1976, p. 4 à 7.

¹²² Cf. chapitre 1, schéma n° 3.

¹²³ R. ANTHONY et J. DEARDEN regroupent en fait les deux premiers (caractéristique à contrôler et moyen de mesure) et ajoutent la nécessité d'un moyen de communication entre les éléments.

¹²⁴ R. ANTHONY et J. DEARDEN, *op. cit.*, p. 6 utilisent le terme "self control".

ordre reçu depuis le niveau supérieur, mais selon leur propre jugement. Aussi ces auteurs relèvent finalement six fonctions nécessaires pour assurer le contrôle d'une organisation :

- la planification, pour définir ce que l'organisation devrait faire,
- la coordination, pour assurer la cohérence des actions de chaque élément¹²⁵,
- la communication de l'information
- l'évaluation de l'information, pour décider des actions à entreprendre,
- l'influence sur les hommes pour modifier les comportements propres,
- le traitement de l'information.

Ils se concentrent ensuite sur la fonction de planification pour la décomposer en trois processus de contrôle qui correspondent au trois niveaux de décision de R. Anthony :

- la planification stratégique,
- le contrôle de gestion¹²⁶,
- le contrôle opérationnel.

La planification stratégique est "le processus de décision quant aux buts de l'organisation, aux changements de ces buts, aux ressources utilisées pour les atteindre, et aux politiques d'acquisition et d'utilisation de ces ressources".

Le contrôle de gestion "assure que les ressources soient effectivement obtenues et utilisées avec efficacité pour atteindre les buts de l'organisation".

Le contrôle opérationnel est la fonction qui "assure que les tâches soient bien faites et avec efficacité"¹²⁷.

Cette décomposition de la fonction de planification en trois sous-systèmes de contrôle, ainsi que les liens avec le système d'information sont résumés dans le schéma suivant par R. Anthony et J. Dearden¹²⁸ :

¹²⁵ Notons que le problème de coordination nous replace sur la difficulté de hiérarchisation des objectifs et sur l'approche différenciation intégration de R. Lawrence et J. Lorsch.

¹²⁶ Nous traduisons littéralement *management control* par contrôle de gestion, bien que la signification anglo-saxonne soit plus large, englobant notamment des actes de commandement et de communication. Une autre traduction possible plus proche de la vision de J. Mélése serait le mot *pilotage*.

¹²⁷ R. ANTHONY et J. DEARDEN, *op. cit.*, p. 8, 10 et 13.

¹²⁸ *Idem*, p. 7.

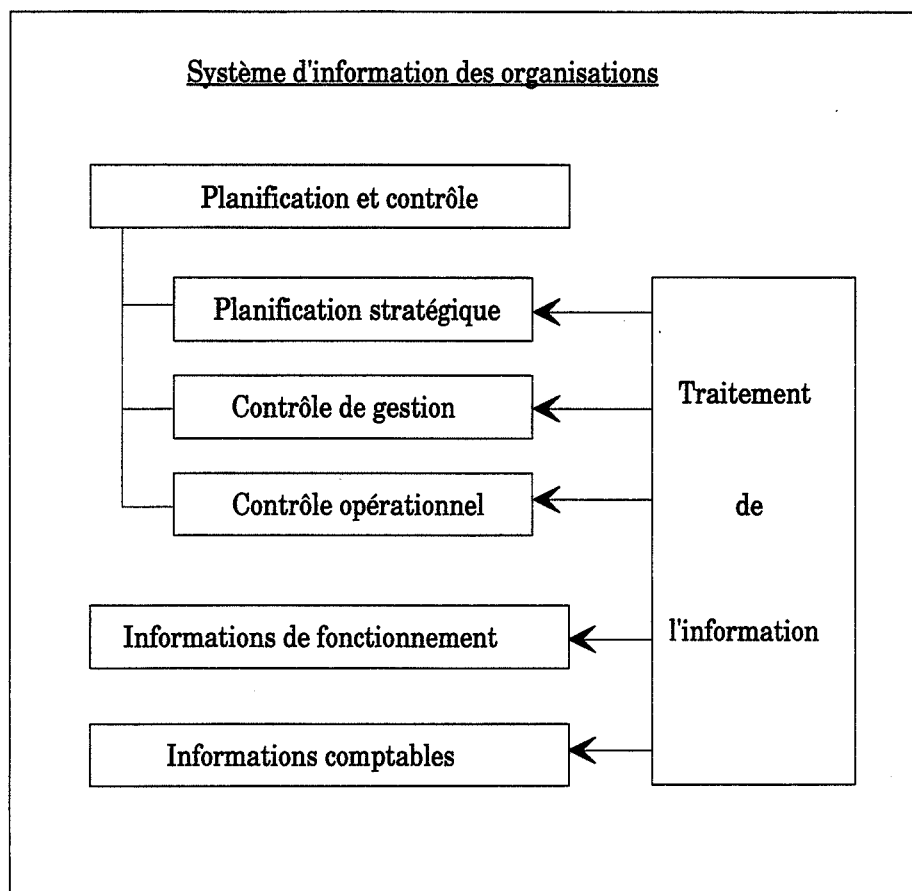


Schéma 13 : Structure organisationnelle d'entreprise de R. Anthony et J. Dearden

Les informations de fonctionnement¹²⁹ sont les informations générées au jour le jour par l'organisation. Dans ces informations de fonctionnement se situent des événements issus du flux de production, mais aussi des données sur les achats, les ventes et les salaires, ainsi que des informations financières, de trésorerie et de coûts¹³⁰. Remarquons bien que cette vision sépare d'un côté l'information, et de l'autre son traitement qui pourra ainsi être réalisé par des moyens informatiques centralisés¹³¹.

¹²⁹ "Operating information".

¹³⁰ *Ibid.*, p. 100.

¹³¹ Elle est en ce sens conforme au modèle général de représentation décrit par le schéma n° 5 du chapitre 1.

Cette décomposition fonctionnelle renvoie en fait à un modèle systémique de contrôle d'organisation fondé sur la théorie cybernétique, et en particulier sur les principes de régulation libre et de régulation commandée. Les trois niveaux de planification et de contrôle (planification stratégique, contrôle de gestion, contrôle opérationnel) sont hiérarchisés et assurent la stabilité du système vis-à-vis des perturbations, selon le principe d'absorption locale de variété. Les décisions sont réparties selon ces niveaux par ordre décroissant d'importance. L'homme en tant qu'acteur décidant selon un concept de rationalité limitée intervient dans le modèle, notamment pour l'évaluation de l'écart entre norme et réalité. Enfin, les difficultés d'agrégation entre niveaux, de déclinaison d'objectifs globaux en objectifs locaux et de cohérence entre les parties du système sont traitées par une entité spécifique de coordination.

Par rapport aux partitions traditionnelles de H. Fayol ou de L. Gulick et L. Urwick, qui n'accordaient que peu d'importance aux relations entre les différents composants, ce modèle de contrôle cybernétique est beaucoup plus complet dans la prise en compte de la dimension systémique des organisations productives. Les trois catégories de comportements humains de J. March et H. Simon (passivité, attitude propre, rationalité) y sont en particulier envisagées et peuvent même engendrer des phénomènes de régulation libre.

Cependant, ce modèle reste très orienté vers le contrôle hiérarchique comme moyen de réduction de variété, et fait appel à la déclinaison d'objectifs du haut vers le bas pour assurer la coordination et l'intégration des moyens. Ainsi, peu de place est laissée à l'autonomie, et en particulier, il n'est pas prévu a priori que des décisions soient prises dans la classe "opérationnelle non structurée" de la typologie de G. Gory et M. Scott Morton¹³². De même, la régulation auto-organisatrice modifiant la structure n'y est pas abordée.

Les deux modèles que nous venons de présenter font donc clairement appel à la norme et au standard comme moyen de définition d'objectifs et d'évaluation de la performance. Ils découlent en cela du contexte taylorien-fordien qui axe le contrôle sur le suivi des coûts directs et qui développe une logique de substitution homme-machine, favorisant ainsi la pleine expression du calcul économique marginaliste, ou encore statique comparatif, que nous avons décrit, mais qui nécessite en contrepartie un environnement stable et une information parfaite.

¹³² Cf. *supra* Chapitre 1, section 3, 2.1.

Nous avons montré dans ce chapitre que les principaux modèles utilisés pour décrire et pour gérer les organisations productives que sont la description micro-économique néoclassique, le calcul économique utilisé comme outil d'aide à la décision en entreprise, et les modèles normatifs du contrôle de gestion classique, procédaient d'une vision cybernétique au sein de l'approche systémique. Nous avons montré que ces modèles renvoyaient à une démarche statique comparative et que l'aspect organisationnel y était ramené à la mise en place d'outils de contrôle liés à la déclinaison hiérarchique d'objectifs normatifs. Nous avons ainsi montré comment les modèles en boucle fermée présentés au chapitre précédent se retrouvaient dans les schémas organisationnels qui structurent traditionnellement les entreprises. Nous en avons déduit que ces structures étaient adaptées à un contexte stable, dans lequel les objectifs sont désignés durablement et deviennent des normes fixes permettant la mise en oeuvre efficace des processus de régulation.

Pourtant, le contexte économique dans lequel évoluent les entreprises industrielles s'est modifié, et la stabilité qui assurait le bon fonctionnement des modèles liés à l'approche cybernétique n'est à présent plus assurée. Nous allons décrire dans le chapitre suivant ce nouvel environnement économique, ainsi que ses implications sur les modèles de représentation des organisations productives.

CHAPITRE 3 : LE NOUVEAU CONTEXTE INDUSTRIEL

Nous allons montrer comment le contexte dans lequel évoluent les entreprises industrielles s'est transformé, et en quoi le calcul économique et les modes de gestion que nous avons exposés au chapitre précédent sont décalés vis-à-vis de ce contexte. Pour cela, nous décrirons la transition observée depuis une économie d'échelle vers une économie de variété, et nous montrerons que la relation d'une organisation productive avec son environnement est de plus en plus caractérisée par l'incertitude et par la complexité. Nous ferons ainsi appel aux particularités systémiques intrinsèques des organisations productives, décrites au chapitre 1, pour montrer que le dosage des différents facteurs identifiés par la théorie néoclassique, et que l'analyse des coûts du contrôle de gestion traditionnel, décrits au chapitre 2, ne sont plus suffisants dans le nouveau contexte industriel. Nous montrerons alors que la réponse s'est en réalité déplacée sur le terrain organisationnel, et que les entreprises ont en particulier développé une stratégie d'organisation fondée sur la réactivité, et ont oeuvré pour réduire les délais de réponse aux sollicitations extérieures.

Dans la section suivante, l'intégration et la flexibilité comme démarches de réactivité seront détaillées en premier lieu dans leur dimension technologique, ce qui nous amènera à exposer plus précisément comment une évolution technique s'insère dans une organisation caractérisée par une nature systémique fondamentalement complexe. Nous analyserons alors le recours systématique aux hautes technologies fréquemment observé dans nombre d'entreprises industrielles, et nous exposerons pourquoi ce recours procède souvent d'une illusion scientifique débouchant en général vers des systèmes de production trop rigides, et à ce titre inadaptés au contexte actuel. A partir de ce constat, nous développerons en second lieu les dimensions organisationnelle et socio-humaine de l'intégration et de la flexibilité, et nous montrerons en particulier comment les approches de type juste-à-temps intègrent dans leur démarche organisationnelle la complexité comme une potentialité d'enrichissement de la structure productive.

Dans la dernière section, nous exposerons comment les évolutions sur les axes technologique, organisationnel et socio-humain au sein des organisations productives

rejaillissent sur les indicateurs économiques qui mesurent leurs performances. Nous montrerons dans quelle mesure le calcul d'investissement et le calcul de fonctionnement sont impliqués dans les bouleversements des structures productives et dans la nouvelle dynamique organisationnelle induite par la délocalisation des prises de décision. Nous étudierons donc plus précisément la position des outils économiques traditionnels face aux récentes transformations des systèmes de production, et nous montrerons comment les techniques de gestion, homogènes avec la représentation économique néoclassique fondée sur l'analyse marginaliste, et comment les modèles analytiques, fondés sur le mécanisme de la fonction de production, se trouvent remis en cause. Nous examinerons alors les alternatives pour une nouvelle évaluation dynamique guidée par des concepts adaptés aux formes actuelles des organisations productives. Nous établirons ainsi le cadre d'un calcul économique plus *organisationnel*, qui reconsidère la fonction de production comme un concept plus large englobant également les procédures de prises de décisions ainsi que la façon dont ces procédures sont construites et se transforment à l'intérieur de la firme. Ce cadre servira de guide pour le développement du chapitre suivant.

SECTION 1 : LES NOUVEAUX RAPPORTS A L'ENVIRONNEMENT

1. Changements, instabilités et besoins d'organisation

1.1 Incertitudes accrues et économie de variété

Depuis l'époque de la mise au point du calcul économique néoclassique et des modèles de gestion désormais traditionnels qui y sont associés, le contexte dans lequel évoluent les entreprises industrielles s'est transformé. En particulier, les exigences du marché sont devenues très différentes de ce qu'elles étaient auparavant, notamment en terme de variété des produits : "en un peu plus d'un demi siècle, les règles du jeu industriel se sont profondément modifiées. Aujourd'hui, les consommateurs entendent obtenir des fabricants des produits diversifiés, voire personnalisés. Et c'est sur leurs aptitudes à offrir au marché des produits différenciés et innovateurs que s'opère, désormais, la concurrence entre fabricants"¹.

Ces nouvelles données du marché sont parfois considérées comme les déterminants d'un nouveau contexte appelé *économie de variété*, qui succède au contexte d'économie d'échelle². L'économie d'échelle peut être définie comme "un résultat des potentialités de standardisation (...). Elle est associée à de longues séries dans la perspective de réduire les coûts unitaires de produits standardisés et soumis à concurrence, en premier lieu sur les prix"³. En revanche, l'économie de variété "se réfère à l'étendue de la gamme des produits au sein d'une unité de production donnée"⁴. M. Gibert indique que "cette recherche de variété de produits résulterait de l'importance prise par la "demande de différence" de la part des consommateurs, au détriment d'une production de masse fondée sur l'offre de produits standardisés et peu variés. Concrètement, cela se traduit, pour les entreprises, par la nécessité d'offrir des produits nombreux - ou tout au moins présentant suffisamment de variantes -, et renouvelés très fréquemment. (...) Le nombre de produits offerts s'est

¹ J. BOUNINE et K. SUZAKI : "Produire juste à temps", Masson, 1989, p 47.

² M. GIBERT : *L'intégration des systèmes de production*, PUL, 1989, p. 130.

³ R. SALAIS et M. STORPER : *Les mondes de production - Enquête sur l'identité économique de la France*, Editions de l'école des hautes études en sciences sociales, 1993, p. 39.

⁴ *Idem*.

considérablement accru tandis que la durée de vie commerciale de chacun d'eux se réduisait"⁵.

Pour P. Lorino également, "la différenciation et la personnalisation des produits sont devenus des avantages compétitifs essentiels. Les catalogues ont foisonné et la durée de vie des produits s'est fortement raccourcie"⁶. De plus, "à la concurrence par les prix s'ajoutent d'autres formes de concurrence de plus en plus acharnées : concurrence par la qualité, concurrence par la diversité (degré d'optionnalité), concurrence par les délais (délai de disponibilité du produit, temps de réaction de l'entreprise). Le monde unidimensionnel des prix micro-économiques correspond de moins en moins à la réalité d'un marché qui se complexifie et que structurent des formes de concurrence pluridimensionnelles"⁷.

Au delà de la multiplication du nombre de produits et du raccourcissement de leur durée de vie, des fluctuations liées à la conjoncture économique participent également à l'instabilité du milieu. M. Hollard⁸ remarque à ce sujet que les relations de l'entreprise avec son environnement sont actuellement caractérisées par l'incertitude qui est liée à l'absence d'un régime de croissance stable, repérable au niveau macro-économique. Il note ainsi que lors des quinze dernières années, des changements importants se sont manifestés : ralentissement de la croissance de la demande globale, montée du chômage, fluctuation des taux d'intérêt réels, ralentissement de la croissance des taux de salaire réels, fluctuation forte des taux de change et des prix des matières premières, extension des échanges internationaux, ...

Outre la variabilité des marchés et du contexte macro-économique en général, l'entreprise est d'autre part immergée dans les fluctuations des possibilités technologiques du moment, qui se répercutent notamment en terme de possibilités de changement de matières premières et de composants, de changement de matériels utilisés, de changement de méthodes de production ou de changement des connaissances humaines. L'ensemble de ces axes d'innovation augmente la latitude de décision de l'entreprise mais la complique également en rendant plus difficiles les phases de conception des produits et des moyens de production. Globalement, la variabilité du contexte technique et scientifique réduit

⁵ M. GIBERT : *L'intégration des systèmes de production*, op. cit., p. 130.

⁶ P. LORINO : *L'économiste et le manager*, Editions La Découverte, 1991, p. 68.

⁷ *Idem*.

⁸ M. HOLLARD : "Outils de gestion et environnement macro-économique", in *Gestion Industrielle et Mesure Economique - Ecosip*, Economica, 1990, p. 36.

finalement l'horizon de visibilité de l'entreprise et participe au caractère incertain de l'environnement.

La relation d'un système de production avec son environnement économique, scientifique et technologique est donc à présent caractérisée par l'incertitude, qui naît d'une plus grande variabilité des domaines. Or ce passage d'un environnement stable vers un environnement incertain, voire un environnement de crise, n'est pas sans conséquence sur une organisation productive. Nous avons en effet repéré au chapitre 1 que les organisations productives possédaient les caractéristiques systémiques fondamentales d'un système ouvert, et étaient donc à ce titre influencées jusque dans leur structure par le flux d'information qu'elles recevaient de l'extérieur. Aussi, la perception des incertitudes environnantes a certainement pour effet de rendre plus complexe leur fonctionnement interne puisque nous avons vu que la complexité était liée à la notion d'imprévisible possible et qu'un système apparaissait complexe pour un observateur lorsqu'il tenait pour certaine l'imprévisibilité potentielle des comportements⁹.

Cette incertitude du contexte dans lequel évoluent les systèmes de production peut donc être identifiée à une source de complexité interne qui modifie leurs comportements et rend nécessaire une adaptation de la part du système à travers des transformations organisationnelles.

1.2 L'organisation comme réponse aux modifications d'environnement

Lors de la présentation des structures générales des systèmes, nous avons noté l'influence de l'environnement technologique révélée par la typologie de J. Woodward¹⁰. Nous avons également indiqué que pour T. Burns et G. Stalker, les performances d'une structure dépendaient de ses capacités à s'adapter aux variations de son environnement, et que pour H. Mintzberg, la stabilité, la complexité et la diversité de l'environnement étaient des facteurs forts de contingence. Le maintien de l'efficacité pour les entreprises soumises aux récentes modifications d'environnement passe donc fondamentalement par des adaptations internes.

Or en revenant à la théorie micro-économique, la fabrication d'un produit ne résulte que de la consommation simultanée de divers facteurs de production dosés de façon

⁹ Cf. *supra*, Chapitre 1, section 1, 2.1

¹⁰ Cf. *supra*, Chapitre 1, section 3, 1.1.

adéquate pour obtenir la meilleure efficacité dans le processus de transformation. L'adaptation à l'environnement passerait donc selon cette approche par un réajustement des parts de facteur capital et de facteur travail respectivement affectées à la fabrication du produit. Cela est certainement en partie valable, notamment dans un contexte de développement scientifique et technologique qui mène à l'amélioration de l'efficacité technique des moyens de production. Les récentes techniques d'automatisation ont d'ailleurs été largement utilisées par les entreprises manufacturières pour accroître la productivité par substitution du facteur capital au facteur travail.

Cependant, si l'analyse classique des quantités de facteurs mobilisées mesure en partie la réponse technologique des entreprises, elle n'est en revanche pas suffisante pour rendre compte pleinement des phénomènes d'adaptation des structures productives. Ainsi, une étude de l'INSEE révèle que près de la moitié de la croissance du PIB français entre 1951 et 1963 ne pouvait s'expliquer par la seule juxtaposition de capital et de travail, mais devait être attribuée à un troisième facteur nommé facteur résiduel, et que J. Bounine et K. Suzaki identifient comme l'organisation¹¹. Ils notent ainsi que "les performances d'une entreprise ne tiennent pas seulement à son effectif, pas plus qu'à l'importance du capital dont elle s'est dotée, mais aussi, et peut-être plus encore, à la nature des relations entre ses acteurs, à leur aptitude à utiliser le capital dont ils disposent pour un projet porteur..."¹².

L'analyse économique réalisée par J. Carré, P. Dubois et E. Malinvaud¹³ sur la croissance française met en avant un ensemble de causes plus complètes pour expliquer le facteur résiduel, mais où l'organisation garde également une place importante. Ces auteurs ont comparé la croissance économique de la France entre 1951 et 1969 avec la croissance théorique donnée par le modèle de Cobb-Douglas¹⁴, et ont décomposé le taux de croissance en un certain nombre de facteurs explicatifs. Ils justifient ainsi la moitié du taux de croissance de la production française dans cette période par des éléments de type travail (essentiellement une amélioration de la qualité du travail et non de la quantité), et de type capital (accroissement du volume de capital net, rajeunissement du capital et amélioration de son efficacité par incorporation du progrès technique)¹⁵. L'autre moitié est expliquée en

¹¹ J. BOUNINE et K. SUZAKI, *op. cit.*, p 13.

¹² *Idem.*

¹³ J. CARRE, P. DUBOIS et E. MALINVAUD : *La croissance française, un essai d'analyse économique causale de l'après guerre*, Seuil, 1972.

¹⁴ *Cf. supra*, Chapitre 2, section 1, 1.1.

¹⁵ J. CARRE et *alii*, p. 259 et p. 275.

première approche par "le développement technique, accompagné vraisemblablement par la réforme progressive des méthodes de gestion"¹⁶. Ces méthodes de gestion sont entendues ici dans un sens très complet qui englobe à la fois la politique économique du pays et les stratégies individuelles des entrepreneurs. Pour la politique économique, les auteurs estiment que la mise en place de la planification nationale ainsi que la cohérence des décisions économiques de l'Etat ont contribué à stimuler les investissements et la modernisation. Ils notent ainsi que "aux cours des dix années qui ont suivi la guerre, les deux premiers plans ont largement contribué à substituer à l'image d'une économie stagnante ou menacée par la crise l'image d'une économie promise à une expansion durable"¹⁷. Cette situation favorable constitue pour eux des éléments d'explication des décisions et des comportements des entrepreneurs qui ont pris conscience des exigences de la production moderne et adapté en conséquence leurs systèmes de production. En particulier "la diffusion élargie de l'information technologique portant sur les matières premières, les procédés de fabrication, les matériels nouveaux a accéléré les progrès des techniques de production. Il en a été de même pour la diffusion élargie des méthodes modernes d'organisation au sein des firmes et des ateliers"¹⁸.

P. Lorino développe sur ce sujet une analyse davantage centrée sur l'intérieur de la firme. Pour lui également, ce "troisième facteur" qui s'écarte des facteurs d'efficacité traditionnels que sont le capital et le travail, mais qui reste indispensable pour expliquer au niveau macro-économique les gains de productivité des entreprises correspond également à "l'efficacité dans la mise en oeuvre d'une combinaison complexe de machines, de techniques, et de travail humain (qui) dépend fondamentalement de la qualité de *l'organisation*, véritable orchestration de tous ces instruments"¹⁹.

Notons que J. Galbraith avait identifié ce qu'il a nommé la technostructure, entité collective qui "va des responsables les plus élevés de la firme jusqu'à sa périphérie, au contact des travailleurs à col blanc et à col bleu dont la fonction est de se conformer plus ou moins mécaniquement aux instructions ou aux routines"²⁰. Cette technostructure, qui constitue, par ses prises de décisions, l'intelligence directrice de l'entreprise, est constituée

¹⁶ *Idem*, p. 286.

¹⁷ *Ibid.*, p. 608.

¹⁸ J. CARRE, P. DUBOIS et E. MALINVAUD : *Abrégé de la croissance française*, Seuil, 1973, p. 248.

¹⁹ P. LORINO, *op. cit.*, p. 25.

²⁰ J. GALBRAITH, *Le nouvel état industriel*, Gallimard, 1967, chap. VI, p. 46.

de composantes humaines qui interviennent selon leurs rationalités et à tous les niveaux hiérarchiques dans l'efficacité de mise en oeuvre des facteurs de production.

Pourtant le concept d'organisation, pris dans son sens le plus général tout en restant au niveau micro-économique qui nous intéresse ici, ne doit pas être simplement assimilé à l'organisation du travail ou limité à la composante humaine et décisionnelle, mais doit comprendre également le sous-système physique dans son intégralité. C'est pourquoi, au lieu de parler de technostructure, P. Lorino utilise l'expression "architecture technico-organisationnelle" qu'il décrit selon quatre niveaux articulés correspondant à la décomposition systémique classique de l'entreprise en trois sous-systèmes (physique, information, décision) auxquels s'ajoute un niveau humain pour bien prendre en considération les effets de relations et de motivations à l'intérieur du système²¹.

C'est donc sur l'ensemble de cette architecture technico-organisationnelle, intégrant en plus de la technostructure le flux physique et le réseau de circulation de l'information, qu'il faut analyser les axes de développement permettant le maintien et l'accroissement de l'efficacité d'une entreprise dans le nouveau contexte d'instabilité et d'évolution technique de son environnement. Aussi, au delà des seules méthodes de calcul d'investissement ou de fonctionnement, c'est l'ensemble du processus de changement interne qui doit être étudié, et dans lequel la *mise en oeuvre* de la combinaison complexe de machines, de techniques, et de travail humain tient un rôle fondamental. C'est pourquoi nous allons approfondir sous l'angle organisationnel l'étude de l'adaptation de la firme à son environnement, à travers l'analyse de deux axes de développement privilégiés par les entreprises : la flexibilité et l'intégration.

2. Les nécessités de la flexibilité et de l'intégration

A partir des années 60, un certain nombre d'entreprises vont développer une stratégie d'organisation fondée sur la réactivité, en privilégiant la réduction des délais de réponse de l'entreprise aux sollicitations extérieures²². Ce besoin de réactivité est d'abord l'effet d'une concurrence qui ne s'établit plus seulement sur les prix et la qualité mais également sur les délais de livraison. La rapidité de réaction à la demande commerciale est ainsi devenue un avantage concurrentiel pour l'entreprise manufacturière. En second lieu, la réactivité est une condition nécessaire pour profiter pleinement de l'évolution technologique en incorporant rapidement les progrès techniques dans les produits ou dans les processus de fabrication. A

²¹ Cf. *supra*, Chapitre 1, section 3, 2.2.

nouveau, l'entreprise qui saura intégrer au plus vite les innovations possédera un avantage sur ses concurrentes.

Nous allons montrer qu'au sein de la structure technico-organisationnelle, la réactivité, comme rapidité de réaction aux sollicitations extérieures, sera essentiellement la conséquence du niveau atteint par l'organisation en terme de flexibilité et en terme d'intégration.

2.1 Flexibilité

Un premier axe de développement de l'architecture technico-organisationnelle face à l'augmentation du risque et de l'incertitude est la recherche de flexibilité : "après une période d'expectative, les entreprises les plus performantes ont cherché à s'adapter (aux) conditions d'incertitude accrues dans leur relation avec un environnement instable. Le maître mot de la période récente est logiquement devenu celui de la *flexibilité*, caractérisant précisément l'aptitude des entreprises à s'adapter à un environnement incertain"²³.

Les concepts entendus derrière le mot "flexibilité" sont en réalité extrêmement divers selon les auteurs. En premier lieu, la flexibilité peut être vue sous un angle purement technologique. Au niveau physique, il est ainsi possible de mesurer le degré de flexibilité d'un équipement suivant le nombre de produits ou de variantes qu'il peut réaliser et suivant la rapidité de passage d'un produit, d'une variante ou d'une opération à l'autre²⁴. Cependant, la flexibilité est également contenue dans le processus de pilotage et de décision qui coordonne le fonctionnement du flux physique, et à ce titre, elle concerne déjà, en plus du sous-système physique, les sous-systèmes décisionnel et d'information. Elle peut alors être définie comme "la capacité ou l'aptitude et la rapidité d'un système industriel à créer et à gérer la variété de façon économique et continue, afin de s'adapter aux changements de l'environnement, externe ou interne, tout en maintenant son équilibre"²⁵. Cette définition assez systémique retombe sur les concepts de variété et d'homéostasie²⁶ et introduit la

²² P. COHENDET et P. LLERENA : "Flexibilité et évaluation des systèmes de production", in *Gestion Industrielle et Mesure Economique - Ecosip*, Economica, 1990, p. 47.

²³ M. HOLLARD : "Outils de gestion et environnement macro-économique", *op. cit.*, p. 37.

²⁴ M. GIBERT : *L'intégration des systèmes de production*, *op. cit.*, p. 134.

²⁵ M. CASTAGNE et U. OKONGWU : "Analyse de la flexibilité de la chaîne logistique de l'entreprise", in *Actes du congrès international de génie industriel de Tours*, 1991, p. 595.

²⁶ Cf. *supra*, Chapitre 1, section 1, 2.1.

notion de coût d'adaptation ou de passage d'un état à un autre. Un système sera ainsi d'autant plus flexible que le coût de changement d'état est faible.

L'introduction du coût dans la notion de flexibilité mène par ailleurs à des définitions à caractère plus économique et financier. En particulier, deux propriétés importantes rendent bien compte de l'intérêt de la flexibilité comme méthode d'adaptation en situation d'incertitude²⁷ : d'une part la flexibilité permet de désolidariser le cycle d'utilisation du capital du cycle de vie du produit, car lorsque la durée de vie commerciale d'un produit est soit très courte, soit très incertaine, le capital productif engagé pour la fabrication de ce produit doit pouvoir être redistribué aisément sur des processus de fabrication d'autres produits. L'automatisation flexible répond par exemple à ce genre de situation. D'autre part, la possession d'équipement flexible, au sens de la rapidité de passage d'un produit à l'autre, peut permettre de diminuer le cycle total de fabrication du produit par réduction de la taille des lots afin de mieux suivre une demande commerciale fluctuante en quantité et en variété. Dans ce sens, la flexibilité permet de réduire les conséquences des incertitudes inhérentes aux nouvelles exigences des marchés.

Flexibilité stratégique, tactique et opérationnelle

Cette flexibilité qui peut donc intervenir à tous les niveaux de l'entreprise a été structurée selon la typologie de décision de R. Anthony. Selon qu'elle concerne le long terme, le moyen terme ou le court terme, elle est ainsi qualifiée de flexibilité stratégique, tactique ou opérationnelle²⁸. La flexibilité stratégique mesurera la rapidité de l'entreprise à concevoir et à fabriquer de nouveaux produits pour répondre aux modifications de la demande du marché. La flexibilité tactique, liée à la gestion des ressources correspondra notamment à la capacité d'intégrer de nouvelles technologies en terme d'équipements de production et à la capacité de modifier aisément des produits existants. La flexibilité opérationnelle fera référence aux possibilités d'effectuer des changements rapides dans les séries fabriquées, aussi bien en terme de volume de production qu'en terme de variété des produits.

Selon le niveau sur lequel une entreprise améliore sa flexibilité, les décisions court terme, moyen terme ou long terme d'adaptation aux perturbations seront facilitées. Notons

²⁷ Cf. M. GIBERT, *op. cit.*, p. 136.

²⁸ Cf. par exemple M. CAPET, G. CAUSSE et J. MEUNIER : *Diagnostic, organisation, planification d'entreprise*, Economica, 1986, p. 201. Ces auteurs ne font cependant pas de réelle distinction entre les niveaux tactique et opérationnel.

cependant que dans un système, chaque niveau supérieur est constitué par l'agrégation des sous-systèmes de niveau inférieur et hérite de ce fait de leurs caractéristiques. Nous estimons donc que la flexibilité stratégique passe dans une certaine mesure par la flexibilité opérationnelle.

P. Cohendet et P. Llerena relient également décision et flexibilité qu'ils définissent dans son sens large comme "la possibilité pour un décideur de pouvoir à tout moment reconsidérer ses choix de manière à maintenir l'optimalité de sa décision"²⁹. Cette notion a une portée variable selon la nature de l'environnement dans lequel évolue le décideur. C'est pourquoi ils distinguent l'avenir certain dans lequel elle est peu pertinente, l'avenir risqué (où les variables de l'environnement sont définies par des lois de probabilité connues) dans lequel la flexibilité est un argument de décision, et surtout l'avenir incertain (caractérisé par des processus d'apprentissage de l'information de la part du décideur) dans lequel elle devient un aspect fondamental de la décision³⁰.

Cette approche les mène à distinguer d'une part la flexibilité statique et d'autre part la flexibilité dynamique.

Flexibilité statique et dynamique

La flexibilité statique est un mode de réponse de l'entreprise en avenir risqué, c'est-à-dire pour lequel les variables de l'environnement sont définies par des lois de probabilité connues. Elle peut se matérialiser au sein d'un système de production par le maintien d'une surcapacité de l'outil industriel permettant d'absorber les pointes de charges sans trop allonger les délais de fabrication, ce qui confère une certaine réactivité face aux variations du marché. Elle peut également correspondre à la faculté d'offrir simultanément plusieurs produits différents par utilisation d'équipements flexibles et sans pour autant les fabriquer tous continûment. P. Cohendet et P. Llerena indiquent que "cette forme de flexibilité demeure en grande partie compatible avec le modèle taylorien-fordien puisqu'il s'agit d'une simple juxtaposition de processus, répondant chacun à l'ancienne logique de production.

Dans ce cadre, il est clair que le choix de la flexibilité statique génère habituellement des *surcoûts* pour l'entreprise et qu'il pose le classique dilemme flexibilité-productivité³¹.

²⁹ P. COHENDET ET P. LLERENA : *Flexibilité, information et décision*, Economica, 1989, p. 7.

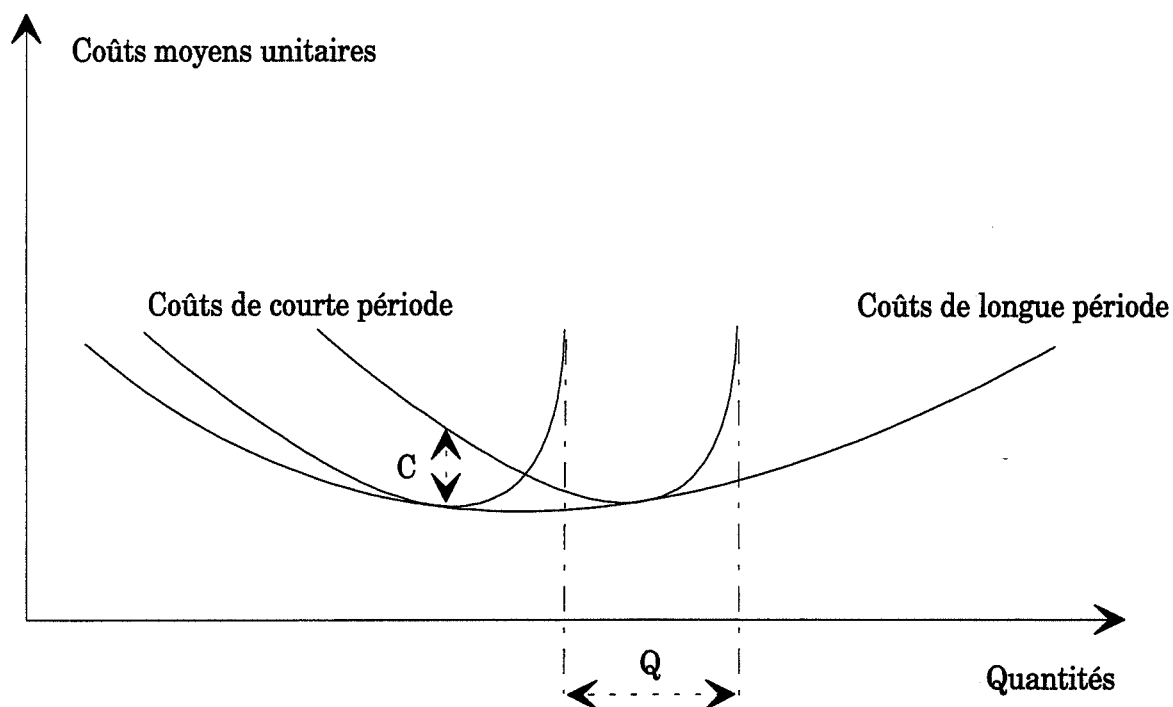
³⁰ *Idem*, p. 7.

³¹ COHENDET P. et LLERENA P. : "Flexibilité et évaluation des systèmes de production", in *Gestion Industrielle et Mesure Economique - Ecosip*, op. cit., p. 50.

Ainsi, la mise en place d'un équipement à capacité excédentaire se représente dans le modèle néoclassique par un déplacement d'une courbe en "U" de coût de courte période vers une autre.

La décision de mise en place résultera d'une comparaison entre d'une part la perte de productivité due à un positionnement non optimal sur la courbe et d'autre part les gains attendus de la bonne réactivité commerciale donnée par le surplus de capacité.

Le schéma suivant montre le coût moyen unitaire supplémentaire C qui dégrade la productivité ainsi que la possibilité d'augmentation de quantité Q résultant d'un déplacement d'une courbe de coût vers une autre.



Graphique 10 : Représentation néoclassique de la productivité statique

En revanche, la flexibilité dynamique ne se représente pas par un modèle néoclassique. Elle correspond en effet à la capacité de répondre à des variations d'environnement imprévisibles donc non modélisables à l'avance. En ce sens, elle fait appel à des processus d'apprentissage au moment de l'apparition de l'événement, et relève donc de l'aptitude de l'organisation à s'adapter continûment à des situations nouvelles. Le maintien de la

connaissance technique d'un processus de fabrication non rentable, mais pouvant le devenir à la suite d'un changement de contexte économique, fait par exemple partie de ce type de flexibilité. Pour P. Cohendet et P. Llerena, le niveau de flexibilité dynamique peut être mesuré par le délai de réaction par rapport aux variations de l'environnement³², et ces auteurs rejoignent ainsi la décomposition hiérarchique de la typologie de R. Anthony. A court terme, ils évaluent le niveau de flexibilité par le délai de production des produits, qui mesure à un niveau opérationnel la capacité de réaction de l'organisation à la demande. A moyen et long terme, ils évaluent le niveau de flexibilité par le temps d'adaptation de l'organisation pour renouveler les produits et transformer en conséquence son processus de production. Le caractère dynamique reste cependant constamment présent dans cette décomposition, en raison de l'imprévisibilité de l'environnement qui nécessite le recours à des phases d'apprentissage et d'utilisation de connaissance, plutôt que d'exécution de procédures définies à l'avance.

Nous avons vu que la flexibilité était un axe privilégié de développement organisationnel des systèmes de production pour répondre en terme de réactivité à l'instabilité de leur environnement. Cette recherche de flexibilité s'accompagne également d'un besoin d'intégration que nous allons à présent décrire.

2.2 Intégration

Le concept d'intégration qui nous intéresse ici correspond à la description de phénomènes apparaissant à l'intérieur de la firme. En particulier, nous ne considérerons pas sous cette désignation les restructurations inter-firmes, selon des logiques d'intégration verticale par exemple, et qui sont du domaine méso-économique. En restant à l'intérieur de l'entreprise, le concept d'intégration désigne la connexion par des moyens de communication adaptés d'unités opérationnelles auparavant plus indépendantes. Il correspond dans ce sens à l'utilisation de liaisons permettant d'accélérer les flux de produit ou d'information pour améliorer la réactivité du système face aux perturbations extérieures. M. Gibert regroupe dans cette approche les aspects suivants³³ :

- la circulation plus ou moins automatique, continue des produits,
- la communication entre équipements, entre fonctions,

³² *Idem*, p. 51.

³³ M. GIBERT : *L'intégration des systèmes de production*, op. cit., p. 92.

- la substitution de matériels informatiques à l'homme dans certaines activités de traitement de l'information, comme la prise de décision,
- l'établissement de liaisons plus étroites entre matériels,
- la coordination des opérations.

Selon une analyse plus fonctionnelle, J. Mélése dégage de la notion d'intégration les réalisations suivantes³⁴ :

- *l'intégration informatique* qui caractérise un réseau cohérent de captage et de distribution des informations dans l'ensemble du système,
- *l'intégration intra-fonction* qui signifie qu'il y a une chaîne et des liaisons logiques entre le recueil des données, leur contrôle, leur traitement, l'application de la méthode de gestion, l'émission d'ordres, enfin le contrôle des réalisations,
- *l'intégration inter-fonction*, par exemple entre les prévisions, la programmation de la production, la gestion des stocks et les approvisionnements,
- *l'intégration homme-machine* qui vise à améliorer la complémentarité des tâches confiées à l'homme et à la machine.

De l'intégration informatique à l'intégration homme-machine, en passant par l'intégration fonctionnelle, l'aspect *coordination* apparaît comme un point central de ces processus organisationnels. Pour prendre l'exemple de la relation homme-machine, nous remarquons que M. Gibert décompose cette relation en trois actions de base³⁵ : l'émission d'informations de l'opérateur vers la machine par l'action des manettes de commande, puis la réception d'informations en provenance de la machine sur les dérives dans l'exécution de la tâche ou sur l'apparition d'incidents et de pannes, et enfin le traitement et l'interprétation de ces événements par l'opérateur qui agira en retour par l'émission de nouveaux ordres vers la machine.

Or dans le cadre d'un investissement en technologie nouvelle intégrée, la machine sera par exemple remplacée par un centre d'usinage à commande numérique, ce qui aura pour effet de déplacer le niveau d'application des trois actions de base précédentes : le chargement d'un programme d'usinage remplacera la manipulation des manettes, le contrôle du bon fonctionnement de la procédure de correction automatique de dérive remplacera le contrôle direct de la dérive, et l'interprétation d'événements mènera à des corrections sur les programmes de pilotage et de contrôle. Aussi, la coordination de la boucle cybernétique

³⁴ J. MELESE : *La gestion par les systèmes*, Editions Hommes et Techniques, 1968, p. 45.

³⁵ M. GIBERT, *op. cit.*, p. 93.

commande-contrôle-interprétation de premier niveau devient entièrement prise en charge par la machine, l'homme intervenant sur une boucle du même type, mais de second niveau. C'est pourquoi M. Gibert interprète le concept d'intégration par "l'objectivation de la fonction coordination (ou de gestion de l'interdépendance)"³⁶, ce qui rend compte de la prise en charge par les équipements des actions de base et de la coordination de ces actions, réalisées auparavant par les hommes. Aussi, l'intégration "n'est pas l'automatisation des mouvements des produits en soi, mais le fait que celle-ci puisse être (ou soit) coordonnée de façon automatique avec d'autres fonctions concourant à la production"³⁷.

Si l'on reprend la décomposition habituelle d'un système de production entre des sous-systèmes physique, informationnel et décisionnel, cela signifie que la frontière entre ces trois entités est structurellement remise en cause par le processus d'intégration déclenché par le besoin de réactivité face aux perturbations externes. Nous assistons ainsi à un transfert d'activités informationnelles et décisionnelles jusqu'à l'intérieur même du système physique, ce qui objectivise les décisions en routines automatisées, ou encore en "actions" au sens de J. Mélése³⁸. Notons au passage que cette imbrication forte entre les différentes fonctions rend naturellement trop simpliste et inadaptée au nouveau contexte la représentation d'une organisation en trois sous-systèmes distincts et séparés les uns des autres. Nous devons donc passer d'une vision monolithique et centralisée de l'information et de la décision à une vision répartie et distribuée.

Nous avons vu que les relations de la firme avec son environnement économique, scientifique et technique étaient à présent caractérisées par l'instabilité et la variabilité. Nous avons montré que face à cette évolution, l'entreprise ne pouvait pas limiter sa réponse à une modification du dosage relatif des différents facteurs de production, mais devait envisager une action sur l'ensemble de l'architecture technico-organisationnelle, c'est-à-dire à la fois la technostructure, le flux physique et le réseau de circulation de l'information. Nous avons vu d'autre part que cette action devait se développer essentiellement dans le sens de la flexibilité et de l'intégration : la flexibilité, déclinée aux niveaux stratégique, tactique et opérationnel permet au niveau statique de répondre à un environnement risqué, puis au niveau dynamique de s'adapter à un avenir incertain ; l'intégration au sens de l'objectivation de la fonction coordination tend à regrouper les sous-systèmes physique, informationnel et décisionnel auparavant plus distincts, reliant ainsi plus fortement la gestion du flux avec le

³⁶ M. GIBERT, *op. cit.*, p. 95.

³⁷ *Idem*, p. 96.

³⁸ Cf. *supra*, Chapitre 1, section 3, 1.2

flux lui-même. Nous allons à présent détailler l'expression concrète prise par ce mouvement vers la flexibilité et l'intégration à l'intérieur des organisations productives, en abordant les récentes modifications technologiques, humaines et organisationnelles utilisées comme réponse à l'évolution de l'environnement.

SECTION 2 : EXPRESSIONS DU MOUVEMENT VERS LA FLEXIBILITE ET L'INTEGRATION

Le concept d'intégration s'exprime classiquement en entreprise selon les dimensions *technologiques, organisationnelles et socio-humaines*³⁹. L'intégration technologique correspond à l'utilisation de moyens physiques de production automatisés reliés à un système d'information par des techniques de communication et de transfert de données. L'intégration organisationnelle, "qui est sans doute l'articulation clé et le point le plus délicat entre technologie et collectif humain"⁴⁰, nécessite le recours à des outils et méthodes de gestion fondamentalement différentes des valeurs classiques de pilotage et de suivi utilisées dans le modèle taylorien-fordien. Enfin, l'intégration socio-humaine, sans laquelle l'intégration technologique ne peut pas être obtenue, suppose en particulier "une intégration concertée et progressive des nouvelles technologies"⁴¹. Nous allons détailler la forme concrètement prise par l'intégration à l'intérieur de la firme selon ces trois dimensions, en nous attachant à montrer l'importance réelle prise par la *mise en oeuvre* des technologies.

1. La dimension technologique de l'intégration et de la flexibilité

Nous allons dans un premier temps détailler l'évolution technologique récente à l'intérieur des systèmes de production, à la fois dans le sous-système physique et dans les sous-systèmes d'information et de décision. Nous aborderons ensuite les différentes voies offertes pour gérer la complexification qui résulte du processus d'adaptation des nouvelles technologies au sein des organisations productives.

1.1 Automatisation flexible et informatisation

La dimension technologique de l'intégration et de la flexibilité se réfère à la fois à des mouvements d'automatisation et d'informatisation. Il est possible de mesurer dans une entreprise le degré d'automaticité de la technologie pour une opération, en observant si le

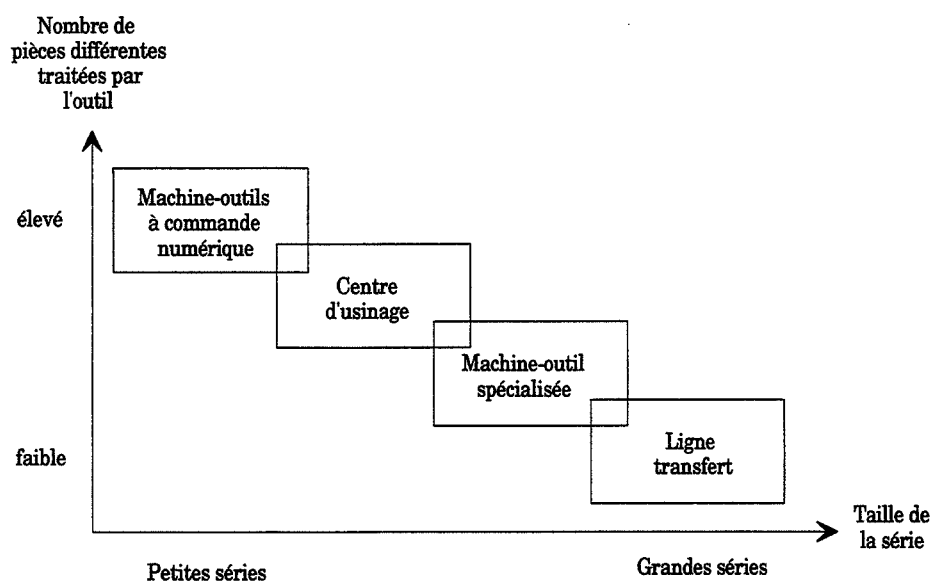
³⁹ Commissariat Général du Plan : *L'usine du futur - L'entreprise communicante et intégrée*, Rapport du groupe de prospective présidé par B. IRION, La documentation française, juin 1990, p 46.

⁴⁰ *Idem.*

⁴¹ *Ibid.*

travail s'effectue à la main ou avec une machine manuelle, ou à l'aide de machines simples actionnées par l'énergie, ou bien à l'aide de machines possédant un cycle automatique, ou encore à l'aide de machines totalement automatiques s'auto-mesurant et s'auto-ajustant⁴².

Cependant, cette évolution du manuel vers l'automatique est de plus orientée par les contraintes du marché, et suit ainsi "les tendances de fond de l'évolution des besoins en automatisation au cours de prochaines années (qui) seront avant tout la flexibilité, l'intégration et la fiabilité"⁴³. En effet, l'économie de variété, caractérisée par une demande de produits diversifiés, oblige les systèmes de production à réduire la taille des séries et à fabriquer un grand nombre de pièces différentes. Comme le montre le schéma⁴⁴ classique suivant qui décrit les grandes familles de matériels de la production automatisée, cette contrainte peut être satisfaite par l'utilisation d'équipements flexibles de type machine outil à commande numérique par exemple, et qui intègrent d'ailleurs dans le système physique une forte part de traitement d'information.



Graphique 11 : Niveau de flexibilité des équipements de production

⁴² M. KALIKA : *Structures d'entreprises - Réalités, déterminants, performances*, Economica, 1988, p. 276.

⁴³ Rapport au Commissariat Général du Plan : *L'usine du futur - L'entreprise communicante et intégrée*, op. cit., p. 68.

⁴⁴ Par exemple dans P. BESSON : *L'atelier de demain - perspectives de l'automatisation flexible*, PUL, 1983, p. 20.

L'investissement en équipements automatisés se développe donc dans l'industrie manufacturière vers les "technologies flexibles" qui doivent associer d'une part des "gains de productivité" (au sens de l'efficacité des facteurs par substitution de capital au travail ou par amélioration technique du rendement physique d'un facteur) et d'autre part la possibilité de s'adapter rapidement à des changements de fabrication. Flexibilité et intégration sont donc à nouveau les fils directeurs qui guident les choix à l'intérieur des différentes familles de matériels de la production automatisée : "la *flexibilité* exige déjà des montages simples et rapides permettant des changements d'outil, de matrice, de moule ou de système de bridage sans temps de préparation appréciable et si possible en temps masqué. En outre, le matériel est de plus en plus reconfigurable et reconvertible ; de structure modulaire, il doit s'adapter à divers outils, matières premières ou composants (...) En matière d'*intégration*, les différents matériels doivent se coordonner entre eux et échanger des informations"⁴⁵.

Outre les machines outils à commande numérique, d'autres types d'équipements participant au mouvement d'automatisation respectent ces exigences⁴⁶ :

- les robots industriels qui sont définis comme des outils automatiques multifonctionnels et reprogrammables, capables d'effectuer des opérations de production ou de manipulation, disposant d'un nombre de degré de liberté supérieur à celui des machines outils à commande numérique, et dotés de capteurs permettant d'appréhender leur environnement en s'adaptant à son évolution ;

- les cellules flexibles, qui sont des centres opératoires constitués d'un ensemble de machines, de magasins de stockage et d'un système de manutention et de manipulation automatique prenant en charge le déplacement et le positionnement des pièces traitées ;

- l'atelier flexible qui est la généralisation du concept de cellules flexibles dont il est constitué, et qui est capable de réaliser des produits différents selon un volume (taille des séries) variable et modulé en fonction de la demande.

L'évolution technologique que nous venons de décrire sur le système physique s'applique également au système d'information et de décision de l'entreprise. Il s'agit alors cette fois d'un mouvement d'informatisation qui concerne en particulier les fonctions de

⁴⁵ Rapport au Commissariat Général du Plan, *op. cit.*, p. 69.

⁴⁶ Cf. G. BAGLIN et alii : *Gestion de la production et des stocks*, Weka Gestion, 1989, Partie 14, chapitre 3, p. 2.

gestion et de contrôle de la production, ainsi que la phase amont de conception des produits. Pour ce qui est du pilotage de la production, la mutation correspond à l'utilisation de logiciels automatisant certaines fonctions locales (gestion des stocks, ordonnancement, suivi de fabrication, ...) ou à l'utilisation de systèmes plus complets de gestion de production assistée par ordinateur fonctionnant par exemple selon le modèle MRP décrit plus haut⁴⁷. Pour la phase amont, elle correspond à l'emploi de logiciels de conception assistée par ordinateur, ou encore de conception et fabrication assistée par ordinateur qui assure la conversion directe des plans en instructions de fabrication destinées aux machines outils à commandes numériques. L'intégration entre tous ces équipements est obtenue par l'utilisation de réseaux locaux industriels qui permettent la reconfiguration de l'outil de production en fonction de la demande, assurant ainsi la coordination technique des moyens.

Au stade ultime, l'intégration technologique mène au concept CIM⁴⁸ dans lequel toutes les tâches - de la conception des produits à leur expédition, en incluant l'assemblage, le stockage, la manutention, ainsi que le contrôle qualité ou la maintenance des machines - seraient gérées et contrôlées de façon informatique.

Ainsi, les outils technologiques d'accès à la flexibilité et à l'intégration existent et sont clairement identifiés et utilisés par les entreprises. Mais comme le note P. Béranger, "ce qui est beaucoup moins clair, en revanche, c'est l'approche à suivre. C'est la façon dont il faut s'y prendre pour réussir la mise en place des hautes technologies. Car malheureusement, sur le terrain, dans les usines, les équipements ultramodernes ne tiennent pas toujours leurs promesses. Ils améliorent rarement la compétitivité de l'entreprise. Ils ont des performances globales décevantes"⁴⁹.

Y. Bouchut précise sur ce point que "les industriels français ont accordé leur préférence à des formes d'investissement technologique de pointe sans engager un effort préalable ou parallèle de transformation de l'organisation. Il en a résulté des difficultés et des échecs, tant il est vrai que l'implantation d'un robot par exemple peut être davantage source de révélation de problèmes que source immédiate de productivité"⁵⁰.

⁴⁷ Cf. *supra*, Chapitre 2, section 3, 2.1.

⁴⁸ CIM : Computer Integrated Manufacturing ou production intégralement informatisée, voir par exemple J. B. WALDNER : *CIM, les nouvelles perspectives de la production*, Dunod, 1990.

⁴⁹ P. BERANGER : *Les nouvelles règles de la production - Vers l'excellence industrielle*, Dunod, 1987, p. 5.

⁵⁰ Y. BOUCHUT : "Organiser et gérer la production", in *Du Fordisme au Toyotisme ? - Etudes et Recherches du Commissariat Général au Plan n° 7-8*, La Documentation Française, 1990, p. 204.

L'utilisation efficace de ces hautes technologies flexibles et intégrées pose donc un certain nombre de difficultés à l'intérieur des organisations productives, et semble souvent rendre plus complexe le pilotage de l'entreprise. Cela nous amène à détailler plus précisément comment une évolution technologique s'insère dans une organisation caractérisée par une nature systémique fondamentalement complexe.

1.2 Les insuffisances de la technologie

Le caractère incertain et instable de l'environnement, et la nécessité de fournir des produits diversifiés et personnalisés influencent la structure de l'organisation productive considérée comme système ouvert. Comme le remarque J. Bounine, "la complexification de ses rapports avec les consommateurs est pour une entreprise, un gage de prospérité, à condition bien sûr que cette complexité accrue puisse être gérée"⁵¹. Or nous avons vu plus haut que plus la variété qui caractérise un système est élevée, plus sa gestion par un système de contrôle est difficile, et que la loi de la variété requise formulée par R. Ashby énonce que pour qu'un système soit totalement sous contrôle, la variété du système de contrôle doit être au moins égale à celle du système contrôlé⁵². La recherche de contrôle se heurte donc logiquement à la complexité croissante des systèmes à contrôler.

Face à cette situation, la démarche organisationnelle classique consistait à assurer la stabilité du système vis-à-vis des perturbations selon le principe d'absorption locale de variété, en utilisant le contrôle hiérarchique et la déclinaison d'objectifs du haut vers le bas pour assurer la coordination et l'intégration des moyens⁵³. Cependant, ces modèles de contrôle manquent de réactivité en raison de la lourdeur des circuits de décisions hiérarchiques, et considèrent d'autre part la complexité comme une difficulté qu'il faut réduire.

J. Mélése détecte ainsi deux attitudes fréquentes des organisations productives qu'il nomme *le vertige de la complexité* d'un côté, et *la sursimplification* de l'autre⁵⁴. Dans la première, les organisations "entrent dans le jeu de la complexité en voulant la battre sur son

⁵¹ J. BOUNINE et K. SUZAKI : "Produire juste à temps", *op. cit.*, p. 47.

⁵² Cf. *supra*, Chapitre 1, section 2, 1.2.

⁵³ Voir le modèle de contrôle de R. Anthony décrit dans le chapitre 2, section 3, 2.2.

⁵⁴ J. MELESE : *La gestion par les systèmes*, *op. cit.*, p. 49.

propre terrain : elles créent des machineries énormes de comptabilité, de réglementation, de programmation, d'applications informatiques diverses, mais, par là même accroissent la complexité du système, se lançant ainsi dans une surenchère sans espoir"⁵⁵. La seconde attitude "consiste à refuser de prendre en compte la diversité et la complication des parties de l'organisme ainsi que leurs nombreuses interactions (...). Le dispositif de gestion se présente alors comme une collection de règles élémentaires peu ou pas reliées entre elles : un tel dispositif n'a pas la capacité suffisante pour maîtriser le système qui échappe au contrôle"⁵⁶.

La mécanisation et le recours à outrance aux hautes technologies sans approche organisationnelle font partie de la première attitude, et alimentent une illusion scientifique qui débouche classiquement sur les difficultés quotidiennes de gestion de ces techniques complexes. Il en va de même pour l'appel systématique à l'informatisation. J. Bounine note à ce sujet que "contrairement à une idée reçue, les ordinateurs ne pourront jamais nous permettre de gérer totalement la complexité de nos entreprises. (...) Parce que nos capacités de gestion sont vouées à croître moins vite que la complexité de nos entreprises, il est impératif de commencer par réduire la complexité des systèmes à gérer. (...) Nous devons mettre l'informatique à la place qui doit être la sienne, celle d'un moyen de gestion parmi d'autres, et d'ailleurs beaucoup moins efficace qu'on ne le croit généralement"⁵⁷.

Pourtant, le caractère incertain de l'environnement et l'immersion dans une économie de variété rendent nécessaire l'emploi d'outils flexibles et intégrés qui permettent de s'adapter à la demande et aux contraintes externes avec une réactivité suffisante, que ce soit sur l'axe physique par l'emploi de machines rapidement configurables ou sur l'axe information-décision par l'utilisation de méthodes automatiques de traitement de l'information. L'utilisation de ces équipements, qui participe à la complexification du système de production, doit donc être accompagnée d'actions organisationnelles, qui ne cherchent pas à "sursimplifier" le système mais prennent au contraire bien en compte la diversité des parties du système et leurs nombreuses interactions complexes et nouvelles. Et cela nécessite notamment le recours à des outils et méthodes de gestion fondamentalement différentes des techniques de pilotage et de suivi utilisées dans le modèle taylorien-fordien.

⁵⁵ *Idem.*

⁵⁶ *Ibid.*

⁵⁷ J. BOUNINE et K. SUZAKI : "Produire juste à temps", *op. cit.*, p. 45.

P. M. Gallois résume bien les insuffisances de la technologie prise isolément ainsi que le besoin d'organisation au sein des entreprises : "il est vrai que l'on pense souvent aux technologies telles que les XAO, les robots, les cellules et les ateliers flexibles, les réseaux locaux, ... et à leur intégration progressive et pourtant leur efficacité serait faible, voire négative, si l'on n'introduisait pas simultanément les nouvelles méthodes et logiques de management fondées sur l'intégration, la simplification et la tension des flux et se déclinant du stratégique à l'opérationnel (projet d'entreprise, juste à temps, qualité totale, technologie de groupe, approche système, ...)"⁵⁸.

C'est pourquoi nous allons aborder à présent les dimensions organisationnelle et humaine du mouvement vers la flexibilité et l'intégration qui apparaissent comme des éléments fondamentaux du processus d'évolution actuel des entreprises.

2. Dimensions organisationnelle et socio-humaine

2.1 La flexibilité et l'intégration par l'organisation

La mise en oeuvre de systèmes d'organisation nouveaux et en rupture avec le traditionnel modèle taylorien-fordien prend sans doute ses sources dans l'industrie japonaise d'après-guerre. Y. Bouchut note à ce propos que "sur le plan de l'organisation, il est particulièrement intéressant de relever que, dès 1948, Toyota va s'écarter des principes fondamentaux de fabrication tels qu'ils étaient en cours dans les usines américaines. C'est en effet à cette époque que Toyota va adopter le grand principe de l'appel par l'aval (pull system) qui devait révolutionner l'organisation de la production et qui va devenir un principe directeur et constant de l'action de rationalisation"⁵⁹. Selon ce principe, la production est tirée par les demandes réelles manifestées par le marché et non poussée par un programme prévisionnel qui estime ou choisit les produits que le consommateur demandera.

Ces nouveaux systèmes d'organisation mis en place par T. Ohno au sein de la firme Toyota constituent notamment une réponse face à l'émergence d'une économie de variété qui a succédé au contexte d'économie d'échelle. Y. Bouchut remarque que "il y a bien

⁵⁸ P. M. GALLOIS : "Le management de l'évolution : vers un management industriel synchronisé et intégré", in *Revue française de gestion industrielle*, N° 1, 1991.

⁵⁹ Y. BOUCHUT : "Organiser et gérer la production", *op. cit.*, p. 178.

renversement par rapport à une conception de production de masse de type fordiste qui s'inscrit dans un "système d'offre" alors que, dans les propositions d'Ohno, il s'agit de construire un "système de demande", celle-ci s'exprimant en tout premier lieu au niveau du consommateur pour remonter toute la filière du processus de production"⁶⁰.

Cette répercussion d'une demande variée et instable sur l'ensemble du processus de production tend naturellement à déstabiliser et à augmenter la variété et la complexité de l'organisation productive à tous les niveaux. Face à cette complexification généralisée, l'approche juste-à-temps ne consiste ni en une surenchère par la mise en place systématique d'équipements complexes, ni à un refus de prendre en compte la diversité par la mise en place d'une collection de règles élémentaires et simplistes. Au contraire, cette approche va intégrer dans sa démarche organisationnelle la complexité comme une potentialité d'enrichissement de la structure productive. Une organisation juste-à-temps considérera dans ce sens la gestion de la complexification des rapports de l'entreprise avec les consommateurs comme un objectif prioritaire et structurant.

Dans ce but, la mise en application de concepts juste-à-temps se déroule selon J. Bounine en trois étapes : complexifier, simplifier, gérer⁶¹. La première étape procède du fait que "les organisations juste-à-temps prennent le service du consommateur comme canon de complexification et de différenciation par rapport à leurs concurrentes"⁶². Elles intègrent ainsi les besoins de réactivité et de variété issues des exigences du marché. La seconde étape consiste à "éliminer la complexité inutile pour ne garder que la complexité utile"⁶³, de façon à supprimer toute cause de complexification qui ne profite pas au consommateur. La dernière étape mène "les organisations juste-à-temps à développer leurs capacités de gestion de la complexité, notamment en s'efforçant d'obtenir une participation active des travailleurs au service du consommateur et à l'élimination des gaspillages"⁶⁴, et fait ainsi appel à la composante socio-humaine de la démarche d'organisation.

⁶⁰ *Idem*, p. 178.

⁶¹ J. BOUNINE et K. SUZAKI : "Produire juste à temps", *op. cit.*, p. 46.

⁶² *Idem*.

⁶³ *Ibid*.

⁶⁴ *Ibid*.

Cette démarche de progrès en trois étapes se décline ensuite selon un certain nombre de mesures organisationnelles. Y. Bouchut distingue huit grandes mesures fondamentales nécessaires à la mise en oeuvre de ces nouveaux systèmes d'organisation⁶⁵ :

- la mise en place d'un système kanban de pilotage de la production à flux tiré,
- la synchronisation du flux de fabrication amont avec les opérations de montage final,
- le changement rapide d'outils,
- la standardisation des opérations,
- l'implantation rationnelle des machines,
- l'amélioration permanente de la qualité,
- *l'autonotation*, ou contrôle automatique des défauts et arrêt en cas d'anomalie,
- la gestion des coûts.

Nous allons aborder successivement ces différentes mesures, montrer qu'elles participent bien d'une démarche organisationnelle globale dans le sens de la flexibilité et de l'intégration, et analyser comment le désordre et les perturbations externes y sont utilisés dans un sens positif comme révélateur de dysfonctionnement. Nous exploiterons notamment cette utilisation positive de l'aléa au chapitre suivant pour développer le concept de bruit structurant.

La mise en place d'un système kanban de pilotage de la production à flux tiré :

Par opposition au flux poussé qui est la caractéristique de base d'un système de gestion de production fondé sur la logique MRP⁶⁶ et piloté par les prévisions de commandes, l'approche juste-à-temps considère que le flux doit être directement tiré par les commandes réelles. Dans ce cas, le traditionnel ordre de fabrication issu d'un calcul des besoins est remplacé par un système de cartes en atelier, véritable flux d'information qui remonte le flux physique et transmet en temps réel depuis l'aval vers l'amont les besoins des clients. P. Béranger indique que les principaux objectifs d'un tel système sont⁶⁷ :

- d'éviter toute interruption de la production d'un atelier ou d'une personne en raison d'un manque de pièces,

⁶⁵ Y. BOUCHUT : "Organiser et gérer la production", *op. cit.*, p. 180 à 187.

⁶⁶ Cf. *supra*, Chapitre 2, section 3, 2.1.

⁶⁷ P. BERANGER : *Les nouvelles règles de la production - Vers l'excellence industrielle*, *op. cit.*, p. 192.

- de ne produire les pièces, sous-ensembles et produits finis que lorsque l'on en a besoin,
- de contrôler les niveaux d'en-cours et de les maintenir le plus bas possible.

Le dernier point est fondamental car la mise en place d'un système kanban est avant tout une technique d'amélioration du système de production par tension du flux. La diminution progressive du nombre d'étiquettes en circulation permet en effet de réduire les stocks d'en-cours qui sont considérés par les adeptes du juste-à-temps comme "la source de tous les maux"⁶⁸. Les stocks, considérés en général comme nécessaires dans les systèmes traditionnels à flux poussés, masquent en réalité un certain nombre de dysfonctionnements répartis en cinq grandes classes⁶⁹ : les mauvaises implantations, la durée des changements d'outil, l'insuffisance de fiabilité des équipements, l'absence de maîtrise de la qualité et les difficultés dues aux fournisseurs. Dans une démarche juste-à-temps, c'est la réduction progressive des en-cours qui permet de faire émerger ces différents problèmes afin de les traiter pour parvenir in fine à un flux de production tiré et tendu qui suive exactement la variété de la demande des consommateurs.

La synchronisation du flux de fabrication amont avec les opérations de montage final :

Cette nécessaire synchronisation est la conséquence positive de la répercussion d'une demande variée et instable sur l'ensemble du processus de production. En effet, l'écoulement du flux de production doit s'effectuer avec des lots de tailles très petites qui correspondent à la quantité juste suffisante pour fournir la demande, de façon à assurer des délais très courts. La fabrication de pièces et de sous-ensembles destinés au montage est donc pilotée en quantités et en dates par le montage, et synchronisée avec les fluctuations du marché. La synchronisation nécessite bien sûr une forte flexibilité des équipements, mais elle participe également à *l'intégration* des organisations productives : "la gestion juste à temps est fortement intégratrice. (...) Les stocks intermédiaires constituaient des tampons, des "découpleurs", et amortissaient les chocs. Leur diminution "resserre les écrous" et transforme l'entreprise en un milieu "tendu" où toute secousse (problème de qualité, panne de machine, retard, conflit social) se propage rapidement. Il suffit d'une perturbation dans la ligne pour que le désordre s'installe de bout en bout"⁷⁰. L'apparition d'un phénomène de

⁶⁸ S. SHINGO : *La production sans stock*, Editions d'organisation, 1990, p. 64.

⁶⁹ Cf. par exemple P. BERANGER, *op. cit.*, p. 42.

⁷⁰ P. LORINO : *L'économiste et le manager*, *op. cit.*, p. 82.

désordre est bien prise dans un sens positif de révélateur de dysfonctionnement, et oriente les actions organisationnelles à mettre oeuvre.

Le changement rapide d'outils :

Les machines utilisées dans les systèmes de production taylorien-fordien étaient en général dédiées à un seul produit et spécialisées dans une seule opération réalisée en très grande série. Le développement de l'économie de variété et l'incertitude des marchés ont ensuite imposé l'utilisation d'équipements flexibles capables de réaliser des opérations variées. Cependant, la flexibilité théorique de l'équipement, mesurable par le nombre d'opérations différentes qu'il peut réaliser, se heurte souvent dans la pratique à des temps de changement de configuration élevés. La pratique traditionnelle consiste alors à limiter le nombre de changements d'outils en réalisant des séries importantes de pièces identiques. Les coûts de configuration de la machine seront alors divisés par le nombre de pièces de la série, et contribueront d'autant moins à élever le coût de revient unitaire que la taille de la série est grande. En contrepartie, une taille de lot importante génère des stocks élevés qu'il faut en particulier financer et gérer. La taille "optimale" du lot est alors souvent calculée en déterminant le point d'équilibre entre le coût des changements de série et le coût de possession des stocks, grâce à la célèbre formule de Wilson⁷¹.

A l'opposé, la démarche juste-à-temps considère que les dépenses induites par un changement d'outil ou par la possession d'un stock n'ajoutent pas de valeur au produit. En conséquence, il ne faut pas essayer d'atteindre un équilibre mais au contraire éliminer parallèlement ces deux sources de gaspillage. La bonne approche consiste alors à réduire les temps de changements de série par la méthode S.M.E.D.⁷², de façon à accroître la flexibilité réelle des équipements pour produire par très petites séries selon la demande exacte du client.

La standardisation des opérations :

Y. Bouchut note que "cette mesure s'inspire du taylorisme et des différentes méthodes MTM et doit permettre de travailler efficacement sans gaspiller de mouvement"⁷³. Elle

⁷¹ Voir par exemple V. GIARD : *Gestion de la production*, Economica, 1988, p 217.

⁷² S.M.E.D. : Single Minute Exchange of Die, littéralement changement d'outil en un nombre de minutes à un chiffre, c'est à dire en moins de dix minutes. Le processus est décrit par S. SHINGO dans *Le système SMED : une révolution en gestion de production*, Editions d'organisation, 1987.

⁷³ Y. BOUCHUT : "Organiser et gérer la production", *op. cit.*, p. 183.

concerne non seulement la standardisation des opérations effectuées sur chaque poste, mais également l'agencement des postes de travail ou encore la situation des stocks intermédiaires de façon à assurer la visibilité du flux de production. Remarquons bien que cette recherche du standard concerne les modes opératoires et non pas les produits eux-mêmes qui doivent rester diversifiés et personnalisés. En ce sens la standardisation s'oppose non pas à la variété mais à la variabilité qui est considérée comme perturbatrice dans un contexte de flux tendu.

L'implantation rationnelle des machines :

L'implantation traditionnelle des machines dans une unité de production est en général déterminée par la volonté de regrouper en "sections homogènes" des machines qui correspondent à une même spécialité technique⁷⁴. Ce regroupement, qui coïncide avec la structure hiérarchique, est habituellement justifié par deux arguments principaux. D'une part il permet de placer un parc de machines identiques sous la responsabilité d'un chef d'équipe formé à l'utilisation de ces machines et chargé de diriger les opérateurs de production qui les servent. D'autre part, il permet à la comptabilité analytique de suivre les coûts de production en créant et en isolant des sections, puis en contrôlant les entrées et les sorties comptables pour chaque section.

Cependant, ce type d'implantation génère au niveau du flux de production, et pour l'entreprise dans sa globalité, un certain nombre de gaspillages que K. Suzaki énumère ainsi⁷⁵ :

- difficulté de coordination et d'ordonnancement de la production,
- gaspillage dû aux transports de pièces,
- accumulation des stocks d'en-cours,
- multiples manutentions des matières,
- délais de production extrêmement longs,
- difficultés à identifier la cause des défauts,
- difficultés à normaliser le flux de matières et le travail des opérateurs,
- difficultés à faire des progrès en raison du manque de normalisation.

⁷⁴ Cf. J. LAVERTY et R. DEMEESTERE : *Les nouvelles règles du contrôle de gestion industrielle*, Dunod, 1990, p. 3.

⁷⁵ K. SUZAKI : *Le nouveau défi industriel : les hommes et les techniques*, Interéditions, 1991, p. 63.

Ces problèmes sont en fait le reflet de l'absence d'une coordination naturelle et efficace entre les différents postes de travail, c'est-à-dire d'un manque d'intégration au sein de l'atelier.

L'approche juste-à-temps, qui cherche en particulier à simplifier les flux à l'intérieur de l'usine, s'accommode mal de cette configuration traditionnelle dans laquelle le regroupement des machines en sections homogènes génère des trajets compliqués pour les pièces. C'est pourquoi l'une des mesures d'amélioration consiste à implanter les machines de façon rationnelle vis-à-vis du flux commandé par le client et non pas vis-à-vis de règles de comptabilité analytique. Dans ce but, les équipements seront alors implantés en *îlots de fabrication* qui regroupent toutes les machines nécessaires pour fabriquer une famille donnée de produits. Un îlot sera géré par une équipe polyvalente capable de fabriquer de façon flexible différents modèles à l'intérieur de la famille de produit.

L'implantation rationnelle selon la logique du produit à réaliser amène ainsi une meilleure coordination de l'information et de la décision lors des différentes étapes de réalisation du produit. Elle facilite également l'ordonnancement en le délocalisant au niveau de l'îlot, permettant ainsi le transfert de fonctions de décision à l'intérieur même du flux physique.

L'amélioration permanente de la qualité :

L'amélioration permanente de la qualité procède de la démarche générale de suppression des aléas qui caractérise l'approche juste-à-temps. Par opposition à l'organisation classique dans laquelle la qualité était confiée à des contrôleurs indépendants, l'organisation juste-à-temps favorise l'auto-contrôle par l'opérateur et la détection de défauts à la source. Elle intègre ainsi la fonction qualité dans la fonction production. D'autre part, la gestion de la qualité suit le principe selon lequel il faut agir sur les causes au lieu de traiter les effets, ce qui signifie en particulier que le processus de fabrication sera conçu au départ de façon à ne pas générer de défauts, notamment grâce au concept *d'autonomation*.

L'autonomation, ou contrôle automatique des défauts et arrêt en cas d'anomalie :

J. Bounine et K. Suzaki opposent l'autonomation à l'automation classique : "celle-ci est aveugle : une machine ou un processus automatisés continuent de fonctionner même si des défauts mineurs apparaissent. Une machine *autonomatisée* est, au contraire, conçue pour s'arrêter automatiquement et émettre un signal approprié lorsque des anomalies surviennent dans le fonctionnement de l'outil, l'approvisionnement ou l'évacuation des

produits"⁷⁶. Cette capacité de détection de défauts intégrée dans la machine dès sa conception est en général doublée de dispositifs anti-erreurs destinés à prévenir les erreurs de manipulation humaine lors des phases de chargement, de positionnement ou de transfert des pièces. De plus, dans une organisation de type juste-à-temps, un opérateur a le pouvoir d'arrêter un processus de fabrication s'il estime que des défauts importants sont apparus et que la qualité ne pourra pas être respectée. Cette délégation de responsabilités peut à nouveau s'analyser comme un déplacement du lieu de prise de décision, auparavant centralisé et hiérarchisé, vers le système physique de production pour améliorer sa réactivité. Elle correspond en partie à une démarche de flexibilité dynamique en ce sens que l'opérateur dispose d'une certaine autonomie de décision face à l'apparition d'événements qui peuvent être de nature imprévisible, et utilise un processus d'apprentissage pour juger de l'opportunité d'arrêter ou non la production.

La gestion des coûts :

Pour l'approche juste-à-temps, "les sources de productivité et les meilleurs coûts de production ne peuvent trouver leur origine que dans une bonne *organisation* de la production qui se donne pour objectif d'éliminer toutes les formes de gaspillage et de déficience de la production, et qui facilite le contrôle des stocks"⁷⁷. C'est non seulement le calcul économique de fonctionnement, mais également le calcul d'investissement qui est concerné par cette démarche. Comme l'indique H. Molet, "le choix d'un investissement productif nouveau devient un carrefour de préoccupations collectives devant intégrer non plus les critères classiques de rentabilité à court terme mais les effets à long terme de ces investissements : flexibilité des produits et de la structure de production, facilité de maintenance, gestion des aléas envisageables ; la définition de l'investissement déborde ainsi les seules attributions du bureau des méthodes pour intégrer les contraintes et les objectifs de la fabrication, de l'entretien, du service qualité..."⁷⁸. L'ensemble des mesures organisationnelles décrites précédemment participe ainsi au nouveau mode de gestion des coûts et à la recherche de gains de productivité pour l'ensemble de l'entreprise. Il s'agit ici encore d'une profonde rupture vis-à-vis du modèle néoclassique qui recherchait les gains de productivité essentiellement par substitution de facteurs ou par amélioration purement technique du rendement physique d'un facteur.

⁷⁶ J. BOUNINE et K. SUZAKI : "Produire juste à temps", *op. cit.*, p. 94.

⁷⁷ *Ibid.*

⁷⁸ H. MOLET : "Un faux dilemme : faut-il utiliser MRP ou KANBAN" in *Axes Robotique*, novembre-décembre 1987.

Enfin, ces évolutions organisationnelles des structures productives sont toujours accompagnées d'une très forte implication du personnel, que nous allons aborder en décrivant quelques éléments de la dimension socio-humaine de la flexibilité et de l'intégration.

2.2 La dimension socio-humaine

Nous avons vu que l'intégration technologique ne pouvait pas être obtenue sans une transformation profonde de l'entreprise sur le plan organisationnel. Cette transformation touche également la dimension socio-humaine, notamment au niveau des relations humaines, de la gestion du travail et de la gestion des nouveaux savoirs.

Au sujet des relations humaines et hiérarchiques, P. Lorino note que "la transformation des normes de performance influe sur la structure de l'organisation et remet en cause le modèle arborescent hiérarchisé de l'ère mécaniste : centralisée et fortement segmentée dans la vision taylorienne-fordienne, la structure tend à devenir plus décentralisée, pour économiser le temps des transferts verticaux d'information, rapprocher les niveaux de décision du terrain d'action, réduire les temps de réaction, et gagner ainsi en flexibilité"⁷⁹. Dans les modèles précédents, adaptés à des environnements stables, la coordination était assurée par le contrôle hiérarchique tandis qu'en économie de variété, la nécessité d'améliorer la flexibilité de la structure amène à décentraliser les décisions de sorte que la coordination doive désormais être intégrée de façon transversale dans le comportement des acteurs et au niveau du flux physique de production. A. Hatchuel et H. Molet indiquent que les mutations induites par l'intégration et l'automatisation d'un système d'information et de décision sont marquées par "deux tendances apparemment opposées, mais en réalité complémentaires : d'une part un surcroît de taylorisme pour le fonctionnement et la commande des nouvelles technologies, d'autre part un affaiblissement des structures de travail tayloriennes"⁸⁰. Le surcroît de taylorisme est induit par le formalisme rigoureux qu'exige l'utilisation des nouvelles technologies de traitement de l'information. C'est notamment le cas lors de la mise en place d'une GPAO, qui passe par une décomposition analytique rigoureuse du fonctionnement de l'entreprise et par la formalisation de bases de données décrivant sa structure. Cette standardisation rappelle la démarche taylorienne de rationalisation des opérations de fabrication, et pourtant ce surcroît

⁷⁹ P. LORINO : *L'économiste et le manager*, op. cit., p. 78.

⁸⁰ A. HATCHUEL et H. MOLET : *GPAO et innovations organisationnelles*, in *Annales des Mines*, avril 1988.

de taylorisme s'applique en réalité surtout aux produits et aux machines plutôt qu'aux hommes, parce que "l'efficacité des nouvelles technologies est inséparable d'un effort de connaissance et de maîtrise des systèmes de production, (...) au lieu d'être les objets de cet effort de taylorisation, les opérateurs sont appelés à en être, en partie, les sujets en apportant leur contribution à des transformations qu'aucun expert ne peut à lui seul dominer"⁸¹. C'est pourquoi les rapports de l'homme à la machine se sont modifiés en même temps que les rapports hiérarchiques. Ainsi, et comme l'indique un rapport économique de l'OCDE, "la responsabilité pour de nombreuses opérations se situe dans l'atelier, permettant ainsi une organisation moins hiérarchique de la production dans les grandes entreprises. L'écrasement de la pyramide hiérarchique et une certaine réduction du degré de contrôle direct du haut vers le bas conduisent à une plus grande flexibilité des méthodes de travail ainsi qu'à une délégation des responsabilités en ce qui concerne l'organisation du travail dans l'atelier, le maintien de la qualité, la réalisation d'une maintenance préventive et d'autres tâches encore"⁸².

En plus des bouleversements qui en résultent dans les relations entre les acteurs, cette décentralisation transforme profondément la gestion du travail. En particulier, on retrouve les effets des huit principales mesures de la démarche juste-à-temps décrites plus haut dans la gestion humaine du travail et dans les rapports de l'homme à la machine. Par exemple, l'abandon des regroupements fonctionnels d'activité par sections homogènes de gestion au profit d'une implantation en îlots orientée vers le produit créent des conditions de travail qui accroissent les interdépendances entre opérations et rendent nécessaire la polyvalence des opérateurs. Cet élargissement des compétences se retrouve dans les nouveaux rapports aux équipements automatisés : "dans le système d'autotransfert, l'homme s'est trouvé situé à deux positions par rapport à la machine : un rang de serviteur de la machine qui impose sa cadence, et un autre niveau de maître de la machine, fixant ses réglages et soignant ses défaillances. La division du travail en faisait un ensemble de fonctions tenues par des hommes différents. Dans le système de l'atelier automatisé actuel, les deux rôles tendent à être confiés à la même personne, avec prépondérance croissante du second. On assiste ainsi à l'apparition de nouvelles figures du travail humain dans l'industrie"⁸³. La complexification de l'outil productif implique donc de nouveaux rôles qui intègrent non seulement des compétences de réglage et de maintenance des équipements, mais amènent également à

⁸¹ *Idem.*

⁸² Rapport de l'OCDE : *La technologie et l'économie*, chapitre 9 : "Technologie et organisation de l'entreprise", 1992.

⁸³ J. P. SICARD : "Evolution des qualifications et besoins de formation : perspectives pour l'an 2000", in *revue du Centre national de documentation pédagogique*, novembre 1990.

prendre des décisions de pilotage du flux de production qui font partie intégrante de la gestion de l'entreprise. En effet, l'opérateur de production doit à présent détenir "une capacité à se situer dans un vaste ensemble informationnel, pour produire et faire circuler les données nécessaires à la régulation du fonctionnement des installations. D'où deux dimensions structurantes pour l'activité des opérateurs sur installation automatisée :

- la nécessité que soit prise en compte, au plus près de la production, des *éléments de gestion économique* ;
- la responsabilité très grande des opérateurs à l'égard du *fonctionnement d'ensemble de l'entreprise*"⁸⁴.

La compréhension du fonctionnement d'ensemble de l'entreprise est nécessaire pour assurer que la prise de décision décentralisée ne mène pas à une optimisation locale antagoniste avec le fonctionnement global de l'organisation. Cette compréhension s'appuie notamment sur des connaissances d'économie et de gestion qui représentent pour l'entreprise de nouveaux savoirs, et qui complètent les savoirs techniques ou technologiques. En raison des besoins de flexibilité de la structure et de réactivité de la décision, ces nouveaux savoirs économiques seront nécessairement localisés près du flux physique, et donc en partie détenus par les utilisateurs directs des nouvelles technologies. La diffusion de ces connaissances participe ainsi au décloisonnement général des fonctions et des services de l'entreprise, et permet la constitution d'une entreprise communicante et intégrée en réponse à l'instabilité de l'environnement et à l'économie de variété.

Nous avons vu que l'investissement en nouveaux équipements productifs à haute technologie était fortement guidé par la recherche d'intégration et de flexibilité au sein des organisations productives, aussi bien sur l'axe physique que dans les sous-systèmes de décision et d'information. Cependant, nous avons vu également que l'efficacité d'une nouvelle technologie ne dépendait plus seulement du choix technique mais également des conditions de sa mise en place, et notamment des mesures organisationnelles et socio-humaines qui l'accompagnent, ainsi que de la diffusion et de l'utilisation de nouveaux savoirs au plus près des équipements. Ces nouvelles données amènent des bouleversements profonds dans les structures des systèmes de production et dans les processus internes de prise de décision. En particulier, la fusion des sous-systèmes physique, informationnel et décisionnel, auparavant plus distincts, relie à présent plus fortement la gestion du flux avec le flux lui-même.

⁸⁴ *Idem.*

Toutes ces modifications au sein des organisations productives rejaillissent naturellement sur les indicateurs économiques qui mesurent leurs performances. Le calcul d'investissement est nécessairement concerné par l'importance désormais accordée aux dimensions organisationnelle et socio-humaine lors de la mise en oeuvre d'un équipement. Quant au calcul de fonctionnement, il est impliqué dans les bouleversements des structures productives et dans la nouvelle dynamique organisationnelle induite par la délocalisation des prises de décision. C'est pourquoi nous allons à présent étudier plus précisément la position des outils économiques traditionnels face aux récentes transformations des systèmes de production.

SECTION 3 : LA SITUATION DU CALCUL ECONOMIQUE

Pour analyser la situation actuelle du calcul économique d'entreprise, nous mesurerons dans une première partie les écarts entre les outils traditionnels de gestion adaptés au modèle organisationnel taylorien-fordien et les besoins des systèmes flexibles et intégrés de production, à la fois en terme de calcul de fonctionnement et en terme de calcul d'investissement. Nous montrerons ensuite que ces techniques de gestion sont homogènes avec la représentation économique néoclassique de type statique comparatif, et que les modèles analytiques fondés sur des fonctions de production se trouvent de fait remis en cause. Nous aborderons alors les voies d'une nouvelle évaluation dynamique guidée par des concepts adaptés aux formes actuelles des organisations productives.

1. Des outils traditionnels de gestion inadaptés

1.1 Le calcul de fonctionnement

Les pratiques de gestion utilisées dans les entreprises pour gérer et contrôler l'activité industrielle et que nous avons décrites dans le chapitre 2 sont fondées sur un système de comptabilité analytique qui reflète fortement le modèle organisationnel taylorien-fordien. Nous pouvons résumer cette cohérence entre calcul de fonctionnement et mode d'organisation à travers six points fondamentaux :

- l'organisation en sections homogènes qui consiste du point de vue physique à regrouper les machines qui correspondent à une même spécialité technique, et du point de vue comptable à contrôler indépendamment l'activité de chaque section,
- l'attention particulière portée au suivi de l'activité de la main d'oeuvre, par une organisation très hiérarchisée et à travers une forte parcellisation des tâches, et dont le reflet comptable est le choix du "temps de travail direct comme base objective des coûts"⁸⁵,
- la prise en compte en deuxième niveau des charges indirectes de structure qui sont réparties à travers des clefs de répartition sur les sections comptables, et qui ne font

⁸⁵ M. GIBERT : *L'intégration des systèmes de production*, op. cit., p. 73.

pas l'objet de l'attention prioritaire de gestionnaires qui centrent principalement leur contrôle sur la productivité du système physique de production,

- la séparation entre le contrôle de gestion et le contrôle des opérations qui répondent à des besoins différents exprimés indépendamment par des fonctions différentes dans le sens où l'un se concentre sur le suivi du budget et des écarts de coûts, l'autre sur le respect du programme de fabrication en délai, quantité et qualité⁸⁶, et dont la responsabilité est confiée à des personnes différentes : gestionnaire d'un côté, directeur de fabrication de l'autre,

- l'attribution d'objectifs mesurés par des indicateurs locaux, parfois antagonistes, mais dont l'association amène un équilibre général qui émerge des tensions entre les différents services opérationnels ; ces indicateurs renforcent par exemple la séparation entre le gestionnaire chargé de la maîtrise des dépenses et le directeur de fabrication chargé du respect des délais,

- un principe de contrôle général fondé sur l'analyse d'écarts par rapport à une norme ; la mesure est physique au niveau de l'activité (temps d'usinage par rapport au temps gamme) et financière au niveau du gestionnaire (dépenses engagées par rapport aux dépenses prévues).

Or, si ces pratiques de gestion s'avéraient particulièrement efficaces dans une organisation de type taylorien-fordien, il semble en revanche qu'elles résistent mal aux récentes modifications de l'environnement économique et aux adaptations internes des entreprises dans le sens de la flexibilité et de l'intégration.

En premier lieu, le contrôle de l'activité selon le principe comptable de segmentation en sections ne coïncide ni avec les techniques nouvelles d'implantation en îlots de fabrication, ni avec les possibilités de reconfiguration permanente qui caractérisent les nouveaux ateliers flexibles. En effet, l'implantation en îlots est guidée par une logique d'intégration des opérations de fabrication en fonction du produit, ce qui mène à la réunion géographique de machines a priori hétérogènes en terme de coûts d'utilisation. Une section comptable calquée sur l'îlot regroupera donc des machines simples et des machines onéreuses, et mènera par calcul à un taux horaire moyen peu significatif vis-à-vis de la diversité des coûts des différentes ressources. De plus, les mesures d'efficacité par section

⁸⁶ Cf. J. LAVERTY et R. DEMEESTERE : *Les nouvelles règles du contrôle de gestion industrielle*, op. cit., p. 13.

calculées par la comptabilité analytique deviennent caduques dès lors que le découpage comptable ne correspond plus à la structure hiérarchique, ce qui est bien le cas lorsque des opérateurs polyvalents passent d'un îlot à un autre en fonction de la demande commerciale. Ces mesures, décalées par rapport à la réalité du fonctionnement quotidien, ne peuvent plus être utilisées comme moyens de contrôle. Enfin, la variété des produits transitant normalement dans un atelier flexible, ainsi que l'importance du nombre de gammes substituables grâce au caractère polyvalent des machines, rendent beaucoup plus compliquée l'affectation a priori des charges aux produits, c'est-à-dire le calcul classique des coûts standards. En particulier, les temps de préparation peuvent dépendre fortement de l'ordre de passage des commandes à exécuter, ce qui rend plus arbitraire le calcul de certains coûts directs⁸⁷.

La focalisation sur les coûts directs comme base objective des coûts est d'ailleurs plus largement remise en question. M. Gibert note que cette approche "était cohérente avec le développement du taylorisme dans les entreprises non automatisées, où le poste frais de main d'oeuvre était de loin le plus important et où surtout, une correspondance étroite existait entre les différentes phases de la fabrication d'un produit et les différentes tâches humaines dans l'atelier"⁸⁸. L'intégration des ateliers remet fortement en question ces deux principes fondamentaux. La part des coûts directs, et en particulier des coûts de main d'oeuvre, dans la structure des coûts de revient d'un produit industriel s'est considérablement réduite. Cette évolution est naturellement la conséquence de l'automatisation au sens de la substitution du capital au travail, mais également le résultat de l'utilisation de techniques de préparation de travail qui conduit à une importance grandissante des services planning et méthodes, ainsi que le résultat de la plus grande complexité des produits manufacturés qui nécessitent un appel croissant aux bureaux d'études⁸⁹. Ainsi, P. Lorino indique que la part des coûts directs représente actuellement en moyenne 10 % du coût de revient complet, tandis que les matières et les coûts indirects représentent respectivement 55 % et 35 %⁹⁰. C'est pourquoi il estime que "la précision notariale avec laquelle sont suivis les coûts directs, lot par lot, opération par opération entraîne une lourdeur de moins en moins justifiable, surtout dans un contexte de gestion

⁸⁷ Cf. V. GIARD : "Une comptabilité de gestion en crise", in *Gestion Industrielle et Mesure Economique - Ecosip*, op. cit., p 145.

⁸⁸ M. GIBERT : *L'intégration des systèmes de production*, op. cit., p. 202.

⁸⁹ V. GIARD : "Une comptabilité de gestion en crise", op. cit., p 145.

⁹⁰ P. LORINO : *L'économiste et le manager*, op. cit., p. 86.

juste-à-temps"⁹¹. D'autre part, la correspondance entre tâches humaines et phases de fabrication d'un produit s'estompe dans un environnement de fabrication intégrée et automatisée, dans le sens où, comme nous l'avons vu plus haut⁹², les actions de premier niveau liées à la transformation de la matière (commande-contrôle-interprétation) sont entièrement prises en charge par la machine, tandis que l'homme intervient sur une boucle de second niveau par des actions de contrôle et de maintenance. La mesure comptable traditionnelle des coûts directs devient donc peu significative en tant qu'indicateur d'évaluation d'un personnel "productif" qui utilise à présent des connaissances et des savoirs d'une autre nature.

Au delà des seuls coûts directs, ce sont en réalité les méthodes générales d'élaboration des coûts complets qui semblent mal adaptées au nouveau contexte. Tout d'abord, le principe d'affectation des charges indirectes à travers un système de clefs de répartition arbitrairement défini est d'autant plus discutable que la proportion de ces charges indirectes dans le coût de revient complet est élevé. A l'extrême, le coût de revient comme indicateur de la rentabilité d'un produit n'est plus crédible tant il dépend du choix des clefs de répartition, et la marge sur coût complet est alors davantage le résultat d'un processus de décision qu'une mesure objective⁹³. Ensuite, un certain nombre de coûts qualifiés de "cachés"⁹⁴ sont mal pris en compte dans la méthode traditionnelle de calcul des coûts de revient dits complets. Il s'agit notamment de coûts indirectement induits par les procédures destinées à pallier les dysfonctionnements des organisations traditionnelles évoluant dans le contexte actuel et qui sont qualifiés de gaspillages par l'approche juste-à-temps : coût d'un stock compensant le manque de flexibilité d'une machine, coût du contrôle d'entrée des matières premières, coût administratif de lancement d'ordres de fabrication, ... Tous ces coûts sont classiquement noyés dans la masse des charges indirectes de sorte que le bénéfice des actions de type organisationnel, qui sont à la base du mouvement vers la flexibilité et l'intégration, n'apparaît pas directement à travers les indicateurs de la comptabilité traditionnelle.

Nous avons vu d'autre part que cette recherche de flexibilité et d'intégration s'accompagnait d'une fusion des sous-systèmes physique, informationnel et décisionnel,

⁹¹ P. LORINO : "Le projet Cost Management System du CAM-I et ses fondements" in *Gestion Industrielle et Mesure Economique - Ecosip*, op. cit., p 155.

⁹² Cf. *supra*, p. 135.

⁹³ La formule de A. BURLAUD et C. SIMON : "un coût est une opinion" est à ce titre tout à fait explicite.

⁹⁴ Cf. par exemple J. LAVERTY et R. DEMEESTERE : *Les nouvelles règles du contrôle de gestion industrielle*, op. cit., p. 9.

auparavant plus distincts, reliant de ce fait plus fortement la gestion du flux avec le flux lui-même. Cette évolution s'accommode mal de l'approche classique qui consiste à séparer le contrôle de gestion du contrôle des opérations. En particulier, la prise en compte d'éléments de gestion économique au plus près de la production, ainsi que la responsabilité des opérateurs à l'égard du fonctionnement d'ensemble de l'entreprise à travers les nouvelles tâches de contrôle qui leur sont confiées⁹⁵ participent à un décloisonnement général qui rassemble dans la pratique le contrôle de gestion et le contrôle des opérations et nécessite l'utilisation d'indicateurs globaux de performance. La prise de décision passe alors d'un mode centralisé fondé sur une rationalité absolue ou substantive à une forme tenant compte des jugements au niveau opérationnel et fondée sur une rationalité limitée ou procédurale⁹⁶. De ce fait, les modèles traditionnels de gestion fondés sur le contrôle hiérarchique et la déclinaison d'ordres de commande du haut vers le bas ne sont plus adaptés⁹⁷.

Enfin, le dernier principe fondamental qui assure la cohérence entre calcul de fonctionnement classique et mode d'organisation traditionnel est le contrôle par analyse d'écarts vis-à-vis d'une norme. La définition d'une norme opératoire est fondée sur la description d'un enchaînement standard des opérations de production qui suppose une certaine stabilité des produits fabriqués et des moyens mis en oeuvre. Or le contexte d'économie de variété d'une part et l'avènement des machines flexibles d'autre part font que produits et machines se trouvent constamment en situation de reconfiguration, ce qui rend impossible l'établissement d'une description de référence. C'est pourquoi P. Lorino note que "la méthode des coûts standards par produit est difficilement compatible avec une stratégie de flexibilité, dans laquelle on cherche l'interchangeabilité des équipements et la différenciation des produits"⁹⁸. De plus, le principe de l'établissement d'un standard suppose que l'efficacité soit figée, au moins pour une certaine période qui est souvent l'année, ce qui signifie que les processus d'amélioration permanente préconisés par l'approche juste-à-temps ne sont pas ici encouragés de façon continue au cours de la période⁹⁹. En outre, le système traditionnel de contrôle des performances a une périodicité au mieux mensuelle, et parfois

⁹⁵ Cf. *supra* p. 153.

⁹⁶ Cf. *supra*, Chapitre 1, section 3, 2.1.

⁹⁷ Ces modèles sont décrits dans le chapitre 2, section 3, 2.2.

⁹⁸ P. LORINO : *L'économiste et le manager*, op. cit., p. 89.

⁹⁹ En particulier, l'approche Kaizen préconise une recherche continue d'amélioration de la performance par l'innovation permanente, et non une évolution par paliers. Cf. M. IMAI : *Kaizen - la clé de la compétitivité japonaise*, Eyrolles, 1992, p. 26.

trimestrielle¹⁰⁰. Les indications de performance, au sens de l'écart par rapport à la norme, concernent la période passée, et l'action correctrice en retour ne pourra être effectuée que sur la période suivante. Si cette approche pouvait être acceptable dans le cadre d'une production très stable, elle ne l'est plus en revanche dès lors que le contexte exige une forte réactivité dans le pilotage du système. C'est pourquoi ce type de suivi s'avère tout à fait inadapté à la gestion opérationnelle quotidienne d'une production en économie de variété. Enfin, ce contrôle est très centré sur la phase de fabrication, alors que l'essentiel des coûts est en fait déterminé lors des phases de pré-étude, de conception et d'industrialisation¹⁰¹. Dans le cadre d'un renouvellement fréquent des produits, c'est-à-dire d'un appel permanent aux services études et méthodes, il est au contraire nécessaire de focaliser davantage l'attention du contrôle des coûts sur les phases situées en amont de la production elle-même.

Nous avons montré que l'évolution récente des organisations productives vers des modèles flexibles et intégrés avait généré un décalage entre le calcul de fonctionnement traditionnel fondé sur les outils de comptabilité analytique et les nouvelles exigences de réactivité et de variété. Nous allons voir à présent que des difficultés identiques se présentent pour le calcul d'investissement.

1.2 Le calcul d'investissement

Le calcul d'investissement classique est fondé sur un certain nombre de principes et d'outils que nous avons détaillés au chapitre 2. Dans le cas d'un investissement de productivité destiné à améliorer l'efficacité d'une opération, nous avons vu que la logique dominante consistait à substituer à une quantité de facteur travail une quantité moins coûteuse de facteur capital. Dans tous les cas (investissement de productivité, mais également de recherche, d'innovation ou d'accroissement de capacité), le processus de décision traditionnel s'appuie sur des outils mathématiques d'évaluation qui traitent les effets en valeur de variations d'intrants et d'extrants de la fonction de production, pour juger de l'opportunité d'un projet d'investissement ou pour comparer plusieurs projets entre eux.

Au delà des difficultés traditionnelles d'utilisation liées à la sensibilité des fonctions d'évaluation aux paramètres de départ (horizon de calcul, taux d'actualisation), un certain

¹⁰⁰ J. LAVERTY et R. DEMEESTERE : *Les nouvelles règles du contrôle de gestion industrielle*, op. cit., p. 18.

¹⁰¹ Par exemple P. LORINO : *L'économiste et le manager*, op. cit., p. 90.

nombre d'autres critiques sont apparues dans le cadre du nouveau contexte économique et organisationnel des entreprises.

En premier lieu, les décisions d'investissement se situent parmi les décisions de longue période qui consistent à améliorer le processus de production par incorporation de technologies plus efficaces. Ce type d'évolution, qui se traduit par un déplacement d'une courbe de coût de longue période à une autre¹⁰², a surtout pris la forme d'un remplacement du travail humain direct d'exécution par des équipements automatisés capables de réaliser les mêmes opérations de façon plus rentable. Aussi, le calcul économique mis en oeuvre pour justifier les choix d'investissement s'est surtout attaché à mettre en évidence la réduction de frais de main d'oeuvre directe susceptible d'être entraînée par la mise en place de l'investissement¹⁰³. Or la diminution actuelle de la part relative de la main d'oeuvre dans la structure de coûts des produits manufacturiers remet en cause ces méthodes d'évaluation des investissements focalisées sur la seule logique de substitution du capital au travail. Une action de réduction des coûts de main d'oeuvre directe ne touche à présent que le dixième de l'ensemble des coûts générés par la fabrication d'un produit industriel, et l'effet de levier de son efficacité est donc très faible. Ainsi, dans l'exemple d'un choix d'investissement en robotique, Y. Bouchut, F. Cochet et J. H. Jacot montrent que la structure actuelle des coûts fait qu'une diminution des coûts relatifs aux matériels est plus bénéfique qu'une réduction du travail direct¹⁰⁴. Ils indiquent d'autre part que "le coût de production est davantage obéré par des activités non productives : attentes, délais divers, stockages, retouches, gaspillages d'énergie, de matières premières, de matériels, ..." ¹⁰⁵, et que les démarches d'amélioration devraient prendre davantage en compte ces dysfonctionnements de nature organisationnelle, plutôt que de se centrer sur le temps direct de main d'oeuvre.

Cette approche globale, qui rejoint les principes organisationnels du juste-à-temps, pose en outre le problème de l'évaluation des différents postes de charges et de produits engendrés par une opération d'investissement. Les fonctions d'évaluation traditionnelles sont en effet fondées sur une comparaison entre les revenus escomptés et les dépenses prévisionnelles, dont le chiffrage direct semble de plus en plus difficile en raison de la complexité croissante des processus de production.

¹⁰² Cf. *supra*, Chapitre 3 section 1, 1.2.

¹⁰³ M. GIBERT, *L'intégration des systèmes de production*, op. cit., p. 76.

¹⁰⁴ Y. BOUCHUT, F. COCHET, J. H. JACOT : *Robotique industrielle et choix d'investissement*, PUL, 1984, p. 112.

¹⁰⁵ *Idem*, p. 113.

Du côté des dépenses, si l'estimation des coûts liés à la partie matérielle de l'investissement est en général maîtrisée, il n'en va souvent pas de même pour la partie immatérielle qui peut représenter selon P. Lorino jusqu'à 50 % ou plus des frais réels¹⁰⁶. Cette partie immatérielle comporte en particulier la formation du personnel à la nouvelle technologie, les études préalables, les études d'ingénieries, etc., qui sont d'autant plus importantes que l'investissement doit s'insérer dans un environnement complexe et intégré, et doit communiquer avec d'autres équipements pour satisfaire les objectifs de réactivité du système de fabrication-information-décision.

Du côté des revenus, les gains attendus ne sont que partiellement des hausses de rendement direct mais intègrent également des dimensions de nature organisationnelle : maîtrise de la qualité, flexibilité, allègement des stocks et des en-cours, diminution des délais, qui apparaîtront globalement et non localement comme des bénéfices pour l'entreprise. A titre d'exemple, R. Schonberger détaille un certain nombre de bénéfices potentiels cachés dans les caractéristiques d'un équipement : la rapidité de reconfiguration, la simplicité de la maintenance, la facilité de déplacement en cas de reconfiguration des îlots, la possibilité d'adapter la cadence aux besoins réels, la facilité de construire des machines identiques en cas d'augmentation de la demande¹⁰⁷. Tous ces avantages potentiels sont d'autant plus difficiles à chiffrer que la démarche d'intégration vise la satisfaction d'un objectif d'efficacité aux dimensions multiples¹⁰⁸ : productivité, flexibilité, qualité, réduction des stocks et des délais, et la prise en compte de toutes ces facettes par une seule fonction d'évaluation analytique semble peu réaliste. C'est pourquoi, dans l'exemple de la mise en place de robots, Y. Bouchut, F. Cochet et J. H. Jacot estiment "que le choix de robotisation paraît renvoyer à un élargissement nécessaire des critères retenus, à un dépassement d'une simple optique d'analyse financière"¹⁰⁹.

De plus, ils considèrent l'introduction d'une technologie comme une modification de poste de travail, donc un déplacement des fonctions remplies par l'opérateur humain vers de nouveaux rôles intégrant de nouveaux savoirs. Cette évolution profonde ne peut alors mener qu'à une remise en question de l'organisation industrielle dépassant largement l'analyse d'un

¹⁰⁶ P. LORINO : *L'économiste et le manager*, op. cit., p. 93.

¹⁰⁷ R. SCHONBERGER : *World class manufacturing*, The Free Press, New York, 1986, p. 77.

¹⁰⁸ M. GIBERT, *L'intégration des systèmes de production*, op. cit., p. 200.

¹⁰⁹ Y. BOUCHUT, F. COCHET, J. H. JACOT : *Robotique industrielle et choix d'investissement*, op. cit., p. 113.

processus de robotisation en termes d'une simple substitution robot / opérateur humain¹¹⁰, et qui requiert alors une démarche d'évaluation globale et systémique¹¹¹.

Enfin, les indicateurs traditionnels de choix d'investissement fournissent une vision locale et séparée des divers projets simultanément en cours, sans prendre en compte leurs contradictions ou leurs synergies possibles¹¹². Or la démarche productique actuelle des entreprises manufacturières se déroule en général suivant des scénarios multi-projets, selon des objectifs d'intégration qui rendent nombreuses les interactions à chaque étape entre les différents acteurs et entre les différents projets. A ce sujet, J. H. Jacot indique ainsi que le mode d'usage proprement dit de l'instrumentation de gestion est remis en cause : "passer d'une conception de "mesure substantielle" à celle d'une "évaluation procédurale" implique notamment que la rationalité productive à l'oeuvre dans les entreprises soit reconnue comme multi-critères, multi-acteurs et multi-étapes"¹¹³. Nous développerons plus précisément cette approche multiple au chapitre suivant.

2. Des représentations économiques en mutation

Nous avons vu que les outils de gestion traditionnellement employés en entreprise semblaient inadaptés au contexte actuel aussi bien pour le calcul de fonctionnement que pour les décisions d'investissement. Or ces techniques de gestion sont homogènes et cohérentes avec une certaine représentation économique de l'entreprise fondée sur l'analyse marginaliste et l'approche statique comparative. Aussi, derrière l'inadéquation de cette instrumentation de gestion se pose la question de la pertinence des modèles économiques fondés sur des fonctions de production statiques dans lesquels les connaissances technologiques et les modes d'organisation n'évoluent pas.

¹¹⁰ *Idem*, p. 112.

¹¹¹ *Ibid.*, p. 124 et suivantes.

¹¹² P. LORINO, *Le contrôle de gestion stratégique*, Dunod, 1991, p. 168.

¹¹³ J. H. JACOT : *Vers une nouvelle évaluation économique des systèmes de production*, Texte pour le colloque de l'ACFAS de mai 1991, Sherbrooke, Québec, Canada, p. 13.

Nous allons préciser ces décalages entre la représentation économique néoclassique et le nouveau contexte industriel, puis nous envisagerons les alternatives amenées par les extensions de la théorie micro-économique.

2.1 Les limites des représentations économiques néoclassiques

L'homogénéité entre techniques de gestion taylorienne et représentation économique néoclassique de la firme est notamment décrite par P. Lorino qui note que "les fondements épistémologiques communs de la micro-économie et du management scientifique assurent leur cohérence"¹¹⁴.

Du côté de la gestion, les quatre principes de base sont la stabilité, l'information parfaite, l'identification de la performance productive à la minimisation des coûts, et l'équivalence entre le coût global et le coût d'un facteur de production dominant¹¹⁵. La stabilité du processus de fabrication permet l'établissement de normes de performance et de comportement qui participent à la définition d'un optimum accessible dans un contexte d'information parfaite. Les modèles de gestion de production ou de contrôle de gestion¹¹⁶ font appel à la norme comme moyen de définition d'objectifs et comme moyen de contrôle de la performance, et standardisent pour réduire la complexité : "le modèle taylorien apparaît comme un modèle cybernétique simple : l'entreprise est un ensemble complexe, mais soumis à des enchaînements déterministes et maîtrisés"¹¹⁷. Cette approche correspond à un mode de régulation de type statique : les connaissances technologiques, les modes d'organisation et les modes d'évaluation ne doivent pas évoluer dans le temps.

Du côté économique, l'aspect statique se retrouve dans les hypothèses implicites essentielles sur lesquelles repose la méthode de résolution théorique par l'analyse marginale menant à l'optimum de production¹¹⁸ :

- la fonction de production doit être stable sur des périodes de temps données, et les comportements doivent donc obéir à des lois permanentes ou d'évolution lente. Cela

¹¹⁴ P. LORINO : *L'économiste et le manager*, op. cit., p. 64.

¹¹⁵ Cf. *supra*, Chapitre 2, section 3, 1.1.

¹¹⁶ Cf. *supra*, Chapitre 3, section 3, 2.1 et 2.2.

¹¹⁷ P. LORINO : *L'économiste et le manager*, op. cit., p. 45.

¹¹⁸ *Idem*, p. 58.

signifie en particulier que les évolutions que nous avons classées en très longue période comme les changements de technologies, de connaissances ou d'organisation dans un but de flexibilité ou d'intégration, et qui rendent la fonction de production non stationnaire par modification de la relation qui existe entre la quantité de produit et la quantité des facteurs mis en oeuvre, sont en dehors du champ traditionnel de la théorie¹¹⁹.

- Les facteurs sont des variables séparables indépendantes, qui ne se déterminent ni se conditionnent mutuellement. Cette condition permet notamment la parfaite substitution entre capital et travail. Elle permet de traiter analytiquement le problème en isolant une variable pour en évaluer l'efficacité, sans prendre en considération d'éventuelles relations entre les facteurs de production, ni d'éventuelles difficultés liées à la mise en oeuvre combinée de ces facteurs.

La stabilité de la fonction de production ainsi que la séparabilité des variables sont ainsi les conditions premières d'une approche économique déterministe fondée sur une résolution analytique et statique qui permet de désigner selon une mathématique de l'allocation optimale en situation d'information parfaite l'optimum de production qui devient l'objectif cible des modèles cybernétiques de gestion.

A l'opposé, le contexte d'économie de variété, la complexité croissante des produits et des processus, et le mouvement vers la flexibilité et l'intégration réclament une approche dynamique et systémique que la théorie néoclassique standard ne traite pas. En effet, une logique centrée sur l'allocation de ressources données, pour des besoins stables et dans un ensemble de technologies fixées ne permet pas d'intégrer correctement les processus d'innovation technologique et organisationnelle permanents qui caractérisent à présent le nouveau contexte industriel. Le passage d'une production comme suite d'opérations stables et strictement normées destinées à la réalisation de produits standardisés, à une production comme association de projets de conception et d'élaboration de produits variés, évolutifs et innovants, fait nécessairement appel à une logique différente d'analyse et d'évaluation des performances. Cette approche différente est prise en compte dans des extensions récentes de la théorie néoclassique que nous allons aborder à présent.

¹¹⁹ Ils seront traités sous la dénomination de phénomènes résiduels.

2.2 Les alternatives à la représentation néoclassique standard

La théorie micro-économique standard que nous avons utilisée jusqu'à présent repose sur deux principes fondamentaux : la rationalité des comportements individuels guidés par des objectifs d'optimisation, et la coordination de ces comportements individuels par le marché et par lui seul, l'ensemble menant à un équilibre général optimal.

Pour situer les alternatives à cette théorie standard, O. Favereau analyse les travaux issus de la remise en question de ces deux principes de base¹²⁰ :

- l'objectif d'optimisation qui guide les comportements individuels correspond au principe de rationalité substantive en situation d'information complète ; il peut ainsi être opposé au principe de rationalité procédurale en contexte d'information incomplète¹²¹,

- le principe de coordination par le marché peut évoluer par l'inclusion dans le système de prix d'un système de règles dont le but est d'assurer une coordination intentionnelle minimum. Il s'agit alors d'une "prise de conscience des défaillances de la coordination marchande, compensée par le recours à d'autres moyens de coordination : l'autorité administrative, les règles de fonctionnement interne des organisations hiérarchiques, et les principes moraux"¹²².

Ces remises en question des principes de base lui permettent de définir deux axes de différenciation qui déterminent quatre positions pour une approche théorique micro-économique¹²³ :

¹²⁰ O. FAVEREAU : "Vers un calcul économique organisationnel", in *Revue d'économie politique*, mars-avril 1989.

¹²¹ Cf. *supra*, Chapitre 1, section 3, 2.1.

¹²² O. FAVEREAU : "Objets de gestion et objet de la théorie économique" in *Revue française de gestion*, novembre-décembre 1993.

¹²³ O. FAVEREAU : "Vers un calcul économique organisationnel", *op. cit.*, p. 328.

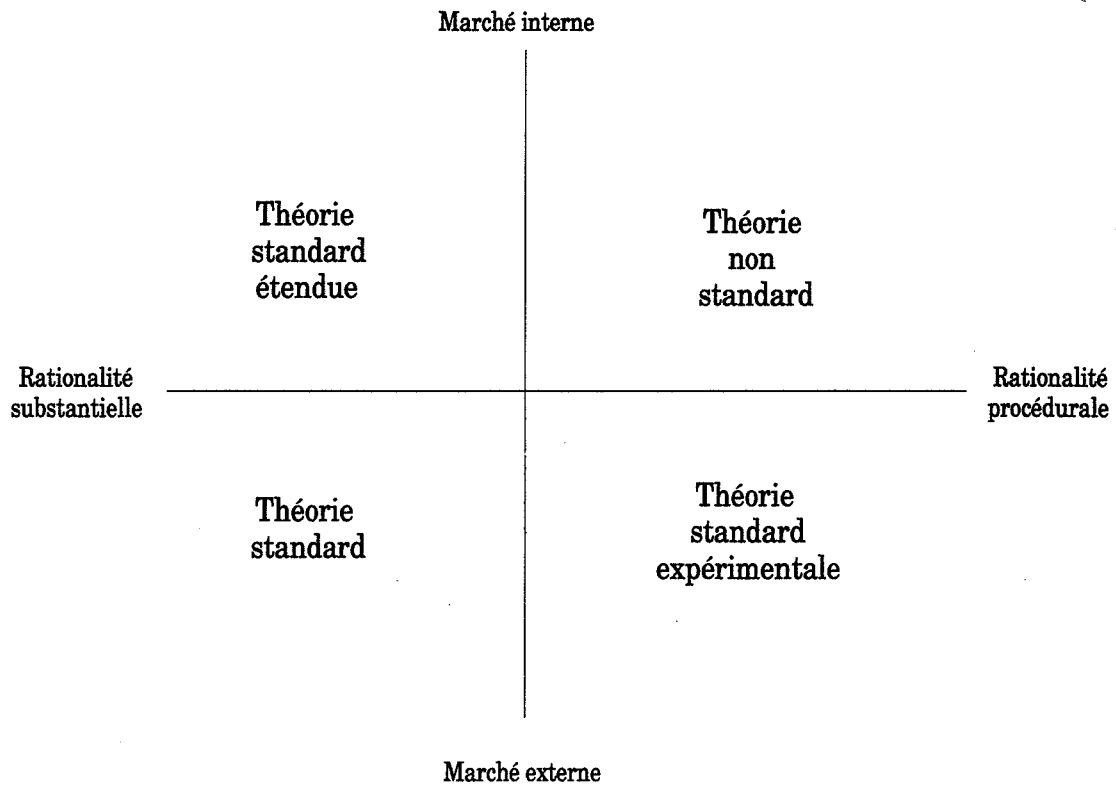


Schéma 14 : Positions respectives d'approches micro-économiques théoriques

La théorie standard est localisée dans le cadre d'une rationalité substantive et d'un marché dit externe dans le sens où ce qui se passe à l'intérieur de la firme est postulé sans importance pour comprendre l'équilibre qui s'établit à l'extérieur.

La théorie standard expérimentale conserve cette conception traditionnelle du marché, et l'associe à une approche procédurale de la rationalité des acteurs. Elle mène à l'étude du fonctionnement pratique des marchés¹²⁴.

La théorie standard étendue retient le caractère substantiel de la rationalité des acteurs, mais ajoute au système de coordination externe par les prix le concept de contrat qui oriente les échanges inter-individuels.

La théorie non standard enfin, s'intéresse aux phénomènes de coordination interne dans un contexte de rationalité procédurale.

¹²⁴ *Idem*, p. 327.

Cette analyse nous permet d'identifier les alternatives à la théorie standard pertinentes pour approfondir l'étude des organisations productives. Nous avons repéré que l'aspect organisationnel était une dimension déterminante de la performance en tant que moyen d'adaptation, notamment sur les axes intégration et flexibilité, aux instabilités de l'environnement. Aussi, la prise en compte de l'aspect organisationnel est pour nous un élément discriminant pour le choix d'un nouveau cadre théorique dépassant les limites de l'approche standard. Or la théorie standard expérimentale se situe dans le contexte d'une interprétation par le marché externe. Elle postule sans importance ce qui se passe à l'intérieur des organisations pour expliquer ce qui se déroule à l'extérieur. A ce titre elle ne nous permettra donc pas d'avancer dans la compréhension du fonctionnement des organisations productives.

En revanche, la théorie standard étendue se place dans un contexte de marché interne, et aborde une organisation productive non plus comme un agent individuel, mais comme un ensemble d'agents en inter-relations. Le concept d'organisation intervient alors comme mode de coordination reposant sur l'usage de règles ce qui donne selon la terminologie d'O. Favereau une "approche contractualiste des organisations"¹²⁵. Les agents économiques peuvent ici définir des règles du jeu à l'intérieur de la firme et à partir de rationalités individuelles hyper-calculatrices pour délimiter le contenu de leurs relations. La coordination de la production est alors assurée par un système de contrats à l'intérieur de l'entreprise. L'existence de la firme est en particulier analysée comme une réponse aux insuffisances du marché : la substitution de l'entreprise au marché, par internalisation des transactions, est source d'économie en terme de coûts de transaction¹²⁶. Ces économies concernent notamment le nombre de relations formelles à mettre en oeuvre, qui sera plus limité à l'intérieur de la firme où chaque agent aura un unique contrat de travail, qu'à l'extérieur où chaque agent devra formaliser un contact avec chaque autre. De plus, dans le strict cadre d'une rationalité substantive, l'ensemble des choix possibles est donné pour la théorie standard étendue au moment de la décision, et les outils du calcul économique restent centrés sur la recherche de l'optimum, notamment à travers la théorie des jeux. L'organisation sera donc analysée en terme d'arrangement contractuel optimal entre les agents.

Cependant, si la notion d'arrangement optimal semble accessible dans un univers d'information parfaite où l'ensemble des choix est connu au départ, il n'en va pas de même

¹²⁵ *Ibid.*, p. 328.

¹²⁶ Cf. G. KOENIG : *Les théories de la firme*, Economica, 1993, p. 59.

lorsque celui-ci doit être construit dans le cadre de la procédure de décision. Ainsi, la rationalité absolue qui permettrait aux agents de négocier des contrats complets incluant la totalité des événements ou des états de la nature pouvant se réaliser pendant la durée du contrat, est remise en question par la complexité et l'incertitude de l'environnement qui rendent impossible la prévision de toutes les situations futures¹²⁷. Le nouveau contexte industriel que nous avons décrit renvoie naturellement à une rationalité limitée dans laquelle toutes les informations nécessaires à l'optimisation ne sont pas accessibles. Dans ces conditions, les contrats établis entre les agents individuels à l'intérieur d'une firme ne pourront plus être complets. Ils ne définiront alors que le cadre général des transactions qui doivent s'y réaliser, et notamment les relations d'autorité qui orientent les comportements de l'organisation. Comme l'indique G. Koenig, "en adhérant à ces contrats, les salariés acceptent qu'une autorité de surveillance remplisse les fonctions d'évaluation et de vérification de leur activité. L'existence d'une telle autorité constitue une caractéristique distinctive de l'organisation des relations de travail par la firme par rapport à une organisation par le marché"¹²⁸.

Tout en reconnaissant la portée d'une analyse en terme de contrats et notamment ses apports sur la compréhension des phénomènes incitatifs, nous ne pouvons cependant pas ramener la description d'une organisation productive uniquement à l'architecture de ses relations contractuelles. En effet, la prise en compte complète de la nature procédurale de la rationalité constitue en réalité un déplacement plus radical dans la grille d'analyse fournie par O. Favereau, depuis la théorie standard étendue vers la théorie non standard. Ce déplacement vers un calcul économique *organisationnel* ne peut s'effectuer qu'en reconsidérant la "fonction de production" comme un concept plus large englobant également les procédures de prises de décisions ainsi que la façon dont ces procédures sont construites et se transforment à l'intérieur de la firme. La compréhension de la construction des procédures de décisions devient en effet fondamentale pour estimer l'efficacité d'une organisation en situation d'information limitée dans laquelle l'ensemble des choix possibles n'est pas donné ex ante. Dans ce contexte, O. Favereau indique que "l'approche contractualiste des organisations cède définitivement la place à une approche cognitiviste"¹²⁹, car le problème de l'efficacité interne des organisations passe alors de la contractualisation d'incitations optimales à *la mise en oeuvre de processus d'apprentissages collectifs satisfaisants*.

¹²⁷ *Idem*, p. 64.

¹²⁸ *Ibid.*, p. 68.

¹²⁹ O. FAVEREAU : "Vers un calcul économique organisationnel", *op. cit.*, p. 342.

Nous pensons que cette approche cognitiviste des organisations est pertinente pour modéliser et comprendre le fonctionnement interne des firmes évoluant en environnement instable, et que nous devons en conséquence explorer le quadrant de la théorie non standard pour la suite de notre étude. Le caractère dynamique s'y trouve naturellement présent à travers les phénomènes d'apprentissage qui induisent une remise en cause permanente des processus de décision eux-mêmes. La capacité d'une organisation à s'adapter à son environnement passera alors par son aptitude à acquérir et accumuler rapidement des savoirs collectifs comme réponse aux sollicitations externes. L'intégration n'est plus simplement considérée comme l'objectivation de la fonction coordination issue de la combinaison automatique d'actions de production par des équipements¹³⁰, mais comme la mise en oeuvre de conditions favorisant les processus d'apprentissages collectifs. La flexibilité n'est plus simplement envisagée dans un sens statique comme une capacité à changer rapidement de produit au sein du flux de fabrication, mais dans un sens dynamique¹³¹ comme la capacité à inventer rapidement une démarche de décision en réponse aux perturbations extérieures. Ce sont ces caractéristiques fondamentales qui doivent à présent être modélisées pour représenter les organisations productives selon une approche cognitiviste.

¹³⁰ Cf. *supra* p. 135.

¹³¹ En référence à la définition de P. COHENDET et P. LLERENA, voir *supra* p. 132.

Nous avons montré dans ce chapitre comment le contexte dans lequel évoluent les entreprises industrielles s'était transformé, et pourquoi la réponse de ces entreprises s'était essentiellement exprimée sur le terrain organisationnel. Nous avons vu en particulier que les démarches d'intégration et de flexibilité étaient devenues des outils privilégiés de développement de la réactivité des firmes face aux instabilités de leur environnement. Nous avons alors exposé le décalage entre les outils économiques traditionnels et les nouvelles formes d'organisation des entreprises, et nous avons montré que l'alternative la plus adaptée à la situation des organisations productives se trouvait dans une théorie non standard menant à un calcul économique organisationnel.

Or ce calcul économique organisationnel ne peut se satisfaire de modèles de représentation limités à la vision cybernétique de la science des systèmes. En effet, replacer l'action au centre de l'évaluation économique implique nécessairement de renouveler les modèles auparavant associés à une démarche statique comparative et à la désignation d'objectifs normatifs. C'est pourquoi nous allons définir dans le chapitre suivant les concepts nouveaux qui nous permettront de construire de nouveaux modèles de représentation des organisations productives adaptés à un calcul économique organisationnel.

CHAPITRE 4 : DE L'ENTREPRISE-FACTEURS A L'ENTREPRISE-COMPETENCES

Nous devons à présent définir les nouveaux concepts de représentation des organisations productives qui sous-tendent le calcul économique organisationnel dans le cadre d'une théorie non standard. Envisager des représentations alternatives au modèle de la fonction de production nécessite en effet de considérer selon une vision nouvelle les processus d'évaluation, le statut de l'information et le concept de hiérarchie.

Dans une première section, nous détaillerons la nécessaire évolution de l'évaluation économique qui doit passer d'un outil de mesure statique et externe à un processus interne collectif et dynamique. Nous identifierons alors les propriétés indispensables aux représentations qui servent de support à la nouvelle évaluation économique, et nous montrerons en particulier que ces représentations doivent être, à l'opposé de l'outil de mesure standard unidimensionnel, collectives, multi-critères, multi-acteurs et multi-niveaux.

Dans une seconde section, nous montrerons que le statut de l'information dans l'entreprise est différent dans le nouveau contexte industriel, et que les systèmes d'information et de gestion doivent évoluer depuis un processus traditionnel de manipulation de symboles selon une suite donnée d'instructions vers des processus cognitifs nouveaux. Nous développerons alors les concepts de connaissance et d'apprentissage, et nous montrerons l'importance des déterminants de nature cognitive dans les performances actuelles des organisations productives. Nous détaillerons en particulier comment l'apprentissage passe d'un cadre technique et individuel à une dimension organisationnelle et collective. Nous développerons alors le modèle de l'entreprise-compétences, qui favorise une dynamique de performance fondée sur l'innovation et sur la créativité, par opposition à l'entreprise-facteurs qui optimisait le rendement au niveau physique selon une logique statique d'affectation de ressources limitées par l'horizon technologique.

Dans la troisième section, nous verrons que le modèle hiérarchique classique qui décompose l'entreprise de façon pyramidale pour permettre la transmission de suites

d'instructions depuis le niveau stratégique jusqu'au niveau opérationnel ne reflète plus la réalité des processus dynamiques et collectifs d'évaluation et ne favorise pas l'émergence des activités cognitives. Nous devons alors proposer un modèle alternatif d'interprétation des structures organisationnelles. Pour cela, nous utiliserons les travaux qui ont été menés en biologie pour comprendre le fonctionnement d'entités autonomes au sein de systèmes complexes, ce qui nous mènera à une interprétation méta-systémique des organisations productives. Nous utiliserons ensuite cette approche pour décrire une organisation selon ses projets finalisés, en la décomposant en activités, processus opérationnels et processus stratégiques.

SECTION 1 : DE L'OUTIL DE MESURE A LA REPRESENTATION COLLECTIVE

Le contexte industriel nouveau, que nous avons décrit dans le chapitre précédent remet en question les principes de base de l'évaluation économique des organisations productives. Nous allons montrer pourquoi la dimension dynamique de l'évaluation nécessite à présent de nouvelles représentations de la firme, qui se déplacent d'un outil traditionnel de mesure vers des modèles collectifs d'interprétation. Pour cela, nous détaillerons les nouvelles règles de l'évaluation économique, présentée comme problème à résoudre, puis nous montrerons comment cette approche dynamique renvoie l'action organisatrice dans une dimension collective. Nous décrirons ensuite les bases des représentations collectives sous-jacentes à l'évaluation dynamique de la performance, en insistant sur la multiplicité des acteurs, des critères et des niveaux à reconnaître au sein des organisations productives.

1. Dynamisme organisationnel et actions collectives

Nous avons vu que les techniques de gestion induites par la représentation économique néoclassique standard de la firme, et communément utilisées pour le calcul de fonctionnement et pour les décisions d'investissement étaient essentiellement fondées sur une approche statique comparative. Dans ce contexte, la mesure de résultat et la comparaison avec une norme préétablie constituait l'outil privilégié des gestionnaires d'entreprise. Le pilotage, au sens cybernétique, d'un système de production était surtout fondé sur la détermination de coûts de revient standard, issus de l'imputation rationnelle et prédéterminée de charges, et sur la mesure des écarts par rapport à ces coûts normatifs. La construction de l'architecture productive s'appuyait surtout sur l'estimation des charges et des bénéfices à venir, qui devenaient en phase de fonctionnement les objectifs cibles à atteindre. Le respect de ces normes par chaque composante de l'organisation assurait en environnement stable la performance de l'ensemble.

Cependant, et comme nous l'avons indiqué au chapitre précédent, le nouveau contexte industriel remet en question cette vision statique, et replace l'action au centre d'une évaluation économique qui acquiert ainsi la dimension d'un processus dynamique.

1.1 L'évaluation économique comme processus dynamique

Le mode de régulation de type comparatif, adapté à un contexte dans lequel les connaissances technologiques, les modes d'organisation et les modes d'évaluation n'évoluent pas dans le temps, est fondamentalement associé à la notion de mesure statique. A l'opposé, le mouvement permanent vers la flexibilité et l'intégration induit par le contexte d'économie de variété réclame une approche dynamique qui dépasse la simple notion de mesure afin d'intégrer correctement les constantes innovations technologiques et organisationnelles.

Ainsi, et à la suite de E. Monnier, J. H. Jacot analyse le concept d'évaluation économique en le différenciant de la simple notion de mesure : "la mesure conserve un rôle important, mais s'en tient aux effets. L'évaluation est de portée plus générale : on tente de remonter aux causes et on se prononce également sur les objectifs et leur mise en oeuvre"¹. Cette approche présente l'évaluation non pas comme une constatation de performances a posteriori mais comme un processus dynamisant inscrit dans le temps, et qui comporte trois étapes itératives et permanentes d'innovation, d'action et d'observation².

L'étape de formulation de l'innovation consiste en une reconnaissance du problème et en une explicitation des objectifs de référence à atteindre. La seconde étape correspond à la mise en oeuvre de moyens à travers un plan d'action nécessairement imprécis dans le cadre d'un contexte d'information limitée et d'un environnement incertain, ce qui implique de reformuler en permanence le problème reconnu et les objectifs à atteindre. Enfin, l'étape d'observation des effets amènera à son tour à reconsidérer le plan d'action et les modalités de sa mise en oeuvre.

Adaptant un schéma de Tyler, J. H. Jacot représente ainsi la différence entre évaluation et mesure³ :

¹ J. H. JACOT : "A propos de l'évaluation économique des systèmes intégrés de production", in *Gestion Industrielle et Mesure Economique - Ecosip*, Economica, 1990, p. 62.

² *Idem*, p. 63.

³ *Ibid.*

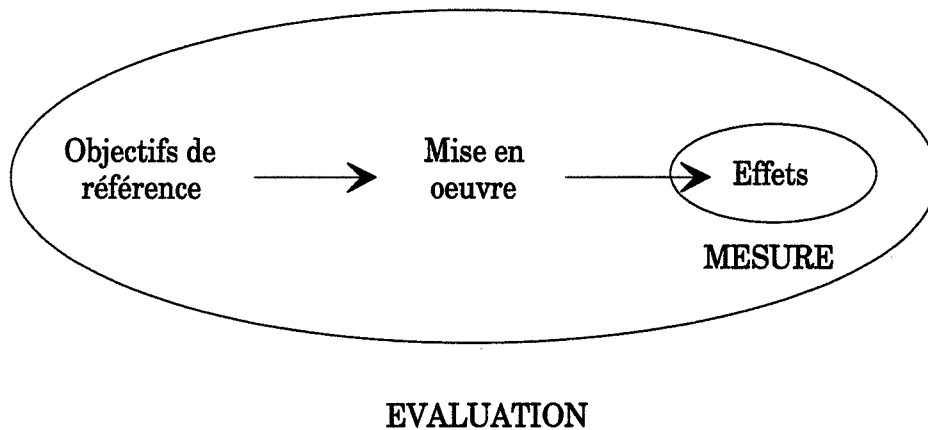


Schéma 15 : Processus dynamique d'évaluation

Les trois étapes interagissent ainsi les unes avec les autres dans une démarche d'amélioration continue, qui s'accompagne d'une remise en cause perpétuelle des objectifs en fonction des résultats obtenus et en fonction des moyens d'action mis en oeuvre lors de chaque déroulement du processus itératif.

Ce processus permanent d'évaluation possède un caractère intrinsèquement dynamique dans le sens où le processus de mesure agit en retour sur les étapes d'innovation et d'action à travers la remise en cause permanente des objectifs et des moyens. Il s'inscrit également dans une logique de rationalité procédurale supportée par un contexte d'information incomplète dans lequel chaque étape itérative d'évaluation ne peut mener qu'à une solution temporairement satisfaisante et non définitivement optimale. Au lieu de la recherche analytique d'optimum préconisée par la théorie néoclassique, l'évaluation devient une activité finalisée et systémique au sens de J. L. Lemoigne lorsqu'il intègre dans une vision dynamique (action, intervention, conception, animation, transformation) les paradigmes cybernétiques et structuralistes en associant le concept de projet dans un environnement actif (procédure cybernétique) et la conjonction du fonctionnement et de la transformation (procédure structuraliste)⁴.

L'évaluation est ainsi posée comme problème à résoudre, et renvoie à l'approche dynamique de type *conception de système* (System Design), que J. van Gigch opposait à la

⁴ J. L. LEMOIGNE : *La modélisation des systèmes complexes*, Dunod, 1990, p. 24. Cf. Chapitre 1, section 2, 2.1.

simple *amélioration de système* (System Improvement) consistant à assurer le fonctionnement d'un système conformément à des spécifications préétablies et selon une mesure d'écart entre comportement réel et comportement souhaité, sans remise en cause de la norme⁵. La conception de système au contraire nécessite la mise en oeuvre, selon le processus dynamique d'évaluation décrit ci-dessus, de nouveaux choix qui induiront des impulsions innovatrices et créatrices pour l'ensemble du système⁶.

Nous retrouvons également ici l'approche Kaizen qui préconise un effort constant de mobilisation dans le but d'élever continûment les normes d'un système productif⁷. Cette recherche permanente d'amélioration de la performance est particulièrement efficace dans le cadre de la mise en application d'innovations technologiques car elle assure une dynamique organisationnelle de progrès entre deux évolutions successives. Les schémas suivants illustrent bien la différence entre la simple amélioration par paliers obtenue par la mise en oeuvre d'innovations accompagnées d'objectifs normatifs (schéma 16), et le progrès continu issu d'une mobilisation collective autour du concept Kaizen (schéma 17)⁸ :

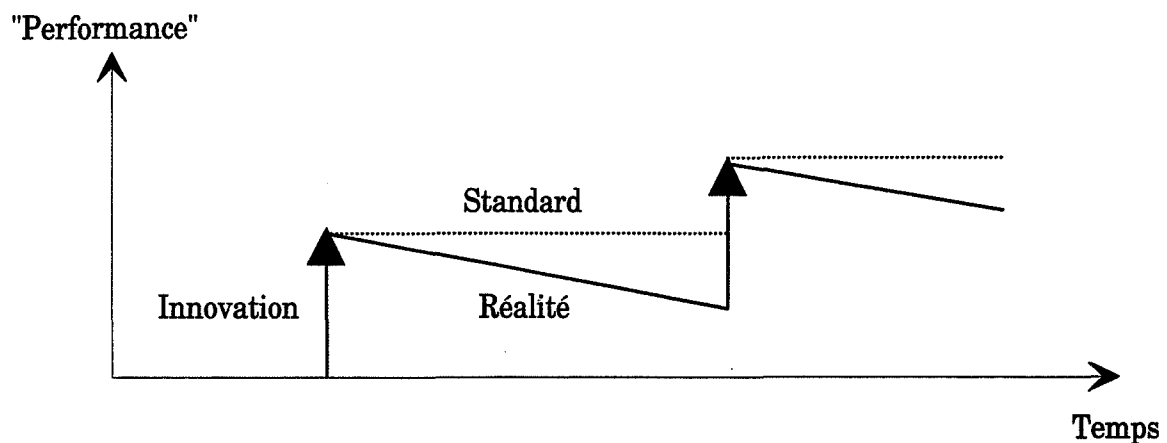


Schéma 16 : Innovation classique

⁵ J. van GIGCH : *Applied General System Theory*, Harper & Row publishers, 1974, p. 3. Cf. Chapitre 1, section 2, 2.1.

⁶ *Idem*, p. 11.

⁷ M. IMAI : *Kaizen - la clé de la compétitivité japonaise*, Eyrolles, 1992, p. 27.

⁸ *Idem*, p. 26.

Dans le cadre de la mise en oeuvre classique d'une innovation technologique, un standard de fonctionnement est préétabli, et un écart croissant est en général constaté entre cette norme et la performance réelle, et ce jusqu'à l'innovation suivante. M. Imaï explique notamment cette détérioration par l'insuffisance de l'effort de maintenance qui suit habituellement la phase d'investissement, particulièrement dans les industries occidentales. En revanche, l'association de l'innovation technologique et du concept Kaizen permet une remise en cause permanente de la norme :

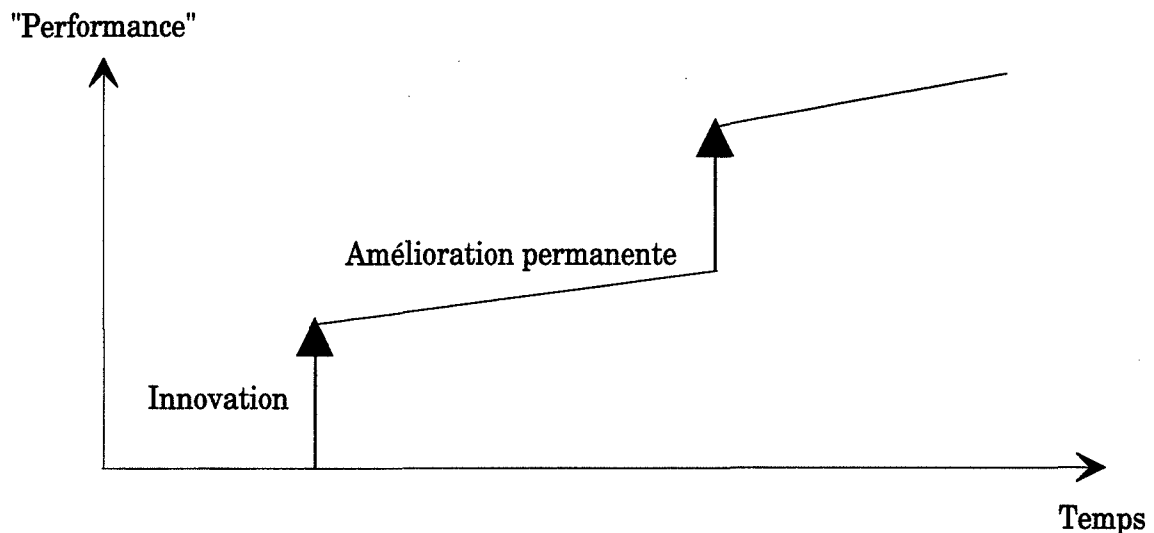


Schéma 17 : Innovation et approche Kaizen

Cette démarche d'amélioration permanente selon l'approche Kaizen apparaît comme une déclinaison opérationnelle de l'évaluation dynamique présentée plus haut. En particulier, elle se déroule en trois étapes bouclées dans un processus itératif⁹ :

- recherche et analyse des causes,
- modification de l'organisation et mesure des résultats,
- établissement de nouvelles normes.

L'instrumentation de gestion doit alors s'adapter à cette définition nouvelle et nécessaire de l'évaluation économique. En particulier, les indicateurs de performance qui

⁹ *Ibid.*, p. 89.

traduisent un modèle de valorisation économique orientant l'activité de production doivent intégrer cette dimension dynamique en se déplaçant depuis un système d'indicateurs de résultats vers un système d'indicateurs de processus : "il faut évaluer des objectifs et des moyens, et pas seulement mesurer des effets"¹⁰. Ainsi, "l'indicateur de performance n'est pas seulement une mesure, c'est un objet complexe, association d'une mesure d'efficacité, d'un objectif et de variables d'action"¹¹. Le rôle dynamique de l'évaluation se transmet alors par les indicateurs de processus sur chaque acteur de l'organisation productive. Nous allons montrer qu'une conséquence importante est que le processus d'évolution de l'entreprise va acquérir une dimension collective incontournable.

1.2 La dimension collective de l'action organisatrice

Nous avons vu que le fonctionnement d'un système complexe émergeait des comportements de l'ensemble de ses éléments en interaction, et que sa compréhension passait notamment par l'observation des interrelations entre ses constituants¹². Dans le cadre de processus de changement et d'innovation, la dynamique des relations entre acteurs participe naturellement à l'évolution globale du système, et E. Morin indique à ce propos que "son intelligibilité (est) fondée sur la circularité constructrice de l'explication du tout par les parties et des parties par le tout"¹³. Il estime ainsi que le concept de système renvoie en réalité à un concept à trois faces :

- un système, qui exprime l'unité complexe et le caractère phénoménal du tout, ainsi que le complexe des relations entre le tout et les parties,
- des interactions, qui expriment l'ensemble des relations, actions et rétroactions qui s'effectuent et se tissent en un système,
- une organisation, qui exprime le caractère constitutif de ces interactions¹⁴.

¹⁰ Commissariat Général du Plan : *La performance globale : outils et évaluation*, Rapport du groupe de prospective présidé par J. BARRAUX, La documentation française, octobre 1994, p. 22.

¹¹ P. M. GALLOIS : "Evaluation et pilotage de la performance industrielle", in *Gestion Industrielle et Mesure Economique - Ecosip*, Economica, 1990, p. 277.

¹² Cf. Chapitre 1, section 2, 1.1.

¹³ E. MORIN : "Le système, paradigme et / ou théorie", in *Modélisation et maîtrise des systèmes techniques économiques sociaux*, Actes du congrès de l'AFCT, Tome 1, 1977, p 45.

¹⁴ *Idem*, p. 48.

Ces trois termes se renvoient l'un à l'autre et se transforment ensemble dans une dynamique d'interdépendance qui mène E. Morin à proposer le concept d'*organisation* pour rendre compte de l'action organisatrice présente au sein des systèmes complexes. Nous retrouvons ici dans le dynamisme organisationnel circulaire de l'évaluation économique proposée par J. H. Jacot, le rôle fondamental de chaque acteur dans ses relations avec les autres : comme le précise E. Morin, "un organisme n'est pas constitué par les cellules, mais par les actions qui s'établissent entre les cellules"¹⁵. Ces interactions étant à la base du dynamisme organisationnel, chaque acteur est naturellement impliqué dans tout processus d'évolution de l'entreprise. Aussi, l'action organisatrice comme activité permanente de la firme en environnement incertain est renvoyée à un mouvement de dimension collective.

Le mouvement décrit au chapitre précédent vers la flexibilité et l'intégration en réponse à l'instabilité et à la variabilité de l'environnement est représentatif de cette dimension collective. En particulier, la flexibilité dynamique, comme capacité de répondre à des variations d'environnement imprévisibles et donc non modélisables à l'avance, mobilise collectivement l'organisation. Ainsi comme le notent A. Picon et P. Veltz, "l'apparition de nouvelles possibilités, comme l'automatisation flexible, a des impacts directs sur l'organisation du travail : le travail devient plus collectif, le couple homme-machine est remplacé par le couple équipe-système ..."¹⁶. Nous avons effectivement indiqué¹⁷ que lors d'un investissement en technologie nouvelle intégrée, la relation homme-machine classiquement caractérisée par trois actions de base¹⁸ (émission d'informations de l'opérateur vers la machine par l'action des manettes de commande, réception d'informations en provenance de la machine sur les dérives dans l'exécution de la tâche ou sur l'apparition d'incidents et de pannes, traitement et l'interprétation de ces événements par l'opérateur qui agira en retour par l'émission de nouveaux ordres vers la machine) était déplacée en terme de niveau d'application (chargement d'un programme d'usinage remplaçant la manipulation des manettes, contrôle du bon fonctionnement de la procédure de correction automatique de dérive remplaçant le contrôle direct de la dérive, et interprétation d'événements menant à des corrections sur les programmes de pilotage et de contrôle). Ce changement de niveau, significatif d'un déplacement du couple homme-machine vers le couple équipe-système, requiert auprès des équipes d'opérateurs des capacités nouvelles de réaction aux pannes, et

¹⁵ *Ibid.*

¹⁶ A. PICON et P. VELTZ : "L'informatique et les nouveaux modèles d'organisation dans l'industrie", in *Annales des Ponts et Chaussées*, N° 69, 1994, p. 1.

¹⁷ Cf. Chapitre 3, section 1, 2.2.

¹⁸ M. GIBERT : *L'intégration des systèmes de production*, PUL, 1989, p. 93.

d'anticipation des dysfonctionnements locaux. Comme le notent A. Picon et P. Veltz, "ce ne sont plus les routines, mais les capacités de résolution des problèmes et de gestion de l'exception, elles-mêmes fondées sur une analyse collective approfondie et permanente des installations et des situations productives, qui expliquent la compétitivité"¹⁹. Ici, l'intégration n'est plus simplement considérée comme l'objectivation de la fonction coordination issue de la combinaison automatique d'actions de production par des équipements, mais bien comme la mise en oeuvre de conditions favorisant les processus d'adaptation collectifs.

Un autre exemple proposé par ces auteurs concerne le cas des industries d'assemblage de produits à composants nombreux, dans lesquelles la performance du système productif dépend de la qualité des interactions entre les multiples intervenants tout au long de l'élaboration du produit. Il en va de même pour la conception et l'industrialisation de produits nouveaux, qui nécessitent la maîtrise de processus de coopération entre de multiples partenaires animés de préoccupations différentes, mais qui collaborent dans une approche collective d'adhésion à un projet. A ce propos, l'approche Kaizen que nous décrivons plus haut fonctionne effectivement à partir d'une mobilisation collective forte : l'activité de petits groupes est considérée comme le moyen coopératif et non conflictuel de résoudre les problèmes et d'introduire les améliorations, par opposition aux structures hiérarchiques fermées propices à la confrontation²⁰.

Nous noterons toutefois que l'intégration considérée à présent comme la mise en oeuvre de conditions favorisant les processus d'adaptation collectifs, et associée au besoin de flexibilité dynamique, renvoie nécessairement à une certaine autonomie des acteurs au sein d'un système de production. Nous avons indiqué à ce propos que la prise de décision devait passer d'un mode centralisé fondé sur une rationalité absolue ou substantive à une forme tenant compte des jugements au niveau opérationnel et fondée sur une rationalité limitée ou procédurale, et que de ce fait, les modèles traditionnels de gestion fondés sur le contrôle hiérarchique et la déclinaison d'ordres de commande du haut vers le bas n'étaient plus adaptés²¹. Il n'est cependant pas assuré qu'en l'absence totale de contrôle, l'activité globale émergeant de l'association des travaux collectifs des différents couples équipe-système autonomes aboutisse à des résultats satisfaisants à l'échelle de l'entreprise²². En

¹⁹ A. PICON et P. VELTZ, *op. cit.*, p. 2.

²⁰ M. IMAI : *Kaizen - la clé de la compétitivité japonaise*, *op. cit.*, p. 92.

²¹ Cf. Chapitre 3, section 3, 1.1.

²² LHOTE F., VALLET, G., DULMET M. : "De la communication à la synergie : le paradigme de l'intégration et ses exigences en terme de sémantique des interactions au sein de l'entreprise" in *23ème CIRP - Séminaire international sur les systèmes de production*, Nancy, 6-7 juin 1991, p. 7.

d'autres termes l'autonomie nécessaire aux acteurs pour développer des processus d'adaptation localement efficaces doit s'exprimer dans un cadre déterminé de façon à assurer la bonne coordination de l'ensemble. Aussi, une vision globale du système, fondée sur des *représentations* collectives de la performance, devient indispensable pour orienter le comportement de chacun des acteurs.

2. Vers des représentations collectives de la performance

2.1 La multiplicité des représentations comme base de l'action

La nécessité d'une représentation comme guide de l'action est fondamentalement liée au fait que "les décideurs prennent des orientations et posent des actes, non pas en fonction de la réalité objective, trop complexe et contradictoire pour être connue avec certitude, mais des représentations individuelles et collectives qu'ils s'en font"²³. Le comportement des acteurs au sein d'une organisation productive est donc induit par le modèle de représentation de la firme que ces acteurs reçoivent ou développent eux-mêmes. En particulier, et comme le note A. Burlaud, "dès qu'une information est visible, elle induit un comportement qui est déjà une décision"²⁴. Aussi, le passage d'un outil de mesure statique à une évaluation économique dynamique, nécessite la construction d'un modèle de représentation de l'entreprise adapté, destiné à guider le processus permanent d'innovation, d'action et d'observation.

P. Lorino indique sur ce point qu'il est indispensable de se doter d'une représentation économique de l'entreprise qui sous-tende les diagnostics et les évaluations, et qui dépasse l'image comptable traditionnelle, inadaptée dans le contexte industriel actuel²⁵. Selon un point de vue comparable, P. Besson remarque que le système d'information et de gestion ne doit pas être déduit simplement de la structure des coûts : "fondamentalement, le système d'information et de gestion doit traduire, mettre en acte (*enactement*) un modèle de valorisation économique destiné à orienter l'activité de production, en insérant dans l'organisation industrielle des logiques de valorisation qui ne sont pas données *ipso facto* par

²³ Commissariat Général du Plan : *La performance globale : outils et évaluation*, op. cit., p. 3.

²⁴ A. BURLAUD : "Coût, contrôle et complexité dans les organisations", in *Gestion Industrielle et Mesure Economique - Ecosip*, Economica, 1990, p. 177.

²⁵ P. LORINO : *L'économiste et le manager*, Editions La Découverte, 1991, P. 105.

l'état de l'environnement (marchand, technologique, technique ou autre)"²⁶. Le système d'information et de gestion, comme représentation de l'entreprise, possédera alors bien le rôle essentiel de "support à partir duquel se jouent et vers lequel convergent les comportements de gestion des acteurs de l'organisation"²⁷.

De plus, afin que l'autonomie nécessaire pour conférer au système un niveau de réactivité suffisant en réponse aux instabilités environnantes s'exprime pleinement, les processus d'évaluation dynamiques doivent se développer au plus près des acteurs directement opérationnels. Pour cette raison, les représentations collectives de l'entreprise doivent être accessibles au niveau des opérateurs qui pilotent le flux physique de production, de sorte que leurs comportements participent, en particulier en fonction d'éléments de nature économique, à la performance globale du système. P. Lorino note ainsi que "pour construire un système d'évaluation à partir de la performance globale, il faut déduire de celle-ci des outils de mesure utilisables à l'endroit et au moment nécessaire pour l'action"²⁸. La performance d'un système doit donc être déclinée à la fois dans l'espace et dans le temps : la déclinaison dans l'espace correspond à une décomposition "en règles de gestion locales, permettant à chacun de modéliser son comportement sur des objectifs cohérents avec la poursuite de la performance globale", tandis que la déclinaison dans le temps vise à "assurer une certaine cohérence entre les comportements quotidiens et les objectifs stratégiques"²⁹. Cette nécessaire déclinaison renvoie à l'élaboration d'un système d'indicateurs de performance, que l'on peut alors définir comme un ensemble d'informations rendues visibles selon une décomposition spatiale et temporelle, de façon à orienter les décisions des acteurs.

D'autre part, l'existence de la firme, c'est-à-dire la présence d'une frontière entre marché et organisation, se matérialise en particulier par l'existence de logiques internes de fonctionnement différentes des règles d'ajustement qui régissent le marché. Nous indiquions plus haut que cette frontière était dans un sens franchie grâce à l'insertion dans l'organisation industrielle de logiques de valorisation qui n'étaient pas données *ipso facto* par l'état de l'environnement (marchand, technologique, technique ou autre), et qui répercutaient en interne une image orientée des ajustements externes. Pourtant, le comportement d'un acteur

²⁶ P. BESSON : "Le contrôle de gestion, la valeur et le contrat : une fonction industrielle en mutation", in *Gestion Industrielle et Mesure Economique - Ecosip*, Economica, 1990, p. 199.

²⁷ *Idem*.

²⁸ P. LORINO : *L'économiste et le manager*, op. cit., p. 104.

²⁹ *Idem*.

au sein d'une organisation, ou encore sa rationalité propre, est le résultat d'un ensemble de motivations qui dépasse très certainement les indicateurs issus de la déclinaison d'une performance globale décrétée par la hiérarchie³⁰. Dans le cadre d'un modèle de hiérarchie fortement directive, on pouvait admettre qu'une certaine unicité des comportements et une normalisation des décisions existait à l'intérieur de l'organisation. En revanche, la mobilisation collective par groupes comme moyen coopératif et non conflictuel de résoudre les problèmes et d'introduire les améliorations, et le développement d'une autonomie créatrice de décisions et d'actions au plus près du flux de production remet largement en question cette normalisation. Aussi, nous ne pouvons plus admettre que les individus se comportent tous suivant la même rationalité, que le même principe sous-tende chaque décision dans l'entreprise, et que la décision ne porte pas la marque de celui qui la prend³¹. A l'inverse de l'hypothèse néoclassique, et en raison de la nécessaire autonomie des acteurs, des critères individualisés de décisions vont réapparaître au sein de l'organisation productive. Aussi, et sans entrer dans le détail de ces motivations, nous devons bien considérer à présent un système de production comme un ensemble constitué d'acteurs spécifiques se comportant suivant une rationalité propre, fondée sur des critères de performance individuels.

Cette spécificité des acteurs pose cependant deux difficultés qui procèdent du rapport entre le collectif et l'individuel : d'une part des critères de performances opposés peuvent mener à des comportements antagonistes à l'intérieur de l'organisation, et d'autre part la rationalité propre d'un acteur peut s'écarter de l'intérêt général du système global.

Une réponse au premier problème se trouve dans le concept de dialogique développé par E. Morin, et qui se trouve à la base de la systémique³². En effet, la coexistence de logiques de natures différentes est caractéristique des systèmes complexes, et ne doit pas être considérée a priori comme destructive vis-à-vis du système. Pour cela, il faut substituer au processus d'exclusion consécutif à une vision disjonctive des deux logiques, un processus de conjonction issu d'une vision distinctive. Ainsi l'approche dialogique est une alternative à la façon monovisible d'observer une situation : l'existence respective de chaque logique n'est pas niée, mais est replacée de façon systémique dans une logique de niveau supérieur qui correspond à la problématique globale à laquelle elles appartiennent. Dans le cadre d'un

³⁰ P. Lorino associe dans *L'économiste et le manager*, p. 104, la performance économique globale à des notions de marge ou de productivité, c'est à dire à des objectifs d'acteurs hiérarchiquement élevés dans l'entreprise.

³¹ Cf. Chapitre 2, section 1, 1.1.

³² Cf. Chapitre 1, section 2, 2.1.

système de production, l'appartenance de l'individu à l'organisation justifie déjà l'existence de cette logique globale fédératrice de niveau supérieur.

Le second problème est constitué par l'écart entre la rationalité propre d'un acteur et l'intérêt général du système global, écart qui peut devenir pénalisant dans les contextes où l'autonomie de l'acteur est suffisante pour conditionner de façon significative son comportement. La réponse se situe à deux niveaux. En premier lieu, on peut estimer comme précédemment que l'appartenance à un groupe mobilise l'individu dans des projets collectifs, ne serait ce que pour assurer l'objectif fondamental de survie de l'organisation. En second lieu se pose en réalité ici le problème du dosage entre l'autonomie qui signifie "loi propre" et l'allonomie au sens de la "loi externe". A la suite de J. Monod, H. Atlan détaille ainsi dans le cas des systèmes complexes biologiques la différence entre un comportement tiré par des causes finales (téléologie : finalités à atteindre) et un comportement issu de la réalisation d'un programme imposé (téléonomie : programme à suivre)³³. Comme l'indique F. Varela, cette distinction initialement établie à partir de l'observation de phénomènes biologiques concerne non seulement les êtres vivants, mais également tous les agrégats, et en particulier les systèmes de gestion³⁴. Au sein d'une organisation productive, le comportement d'un acteur est à la fois la conséquence des finalités qu'il essaie d'atteindre et des ordres directs qu'il reçoit comme suite d'instructions à exécuter depuis un niveau hiérarchique supérieur. Notons que la frontière n'est cependant pas absolue, car un comportement peut être induit par l'association d'une rationalité propre (besoin de reconnaissance par exemple) et d'objectifs externes (indicateurs de performances imposés).

La différence entre ces deux concepts est cependant fondamentale : d'un côté, l'allonomie renvoie à la notion de commande et donc aux modèles cybernétiques : "quelque chose entre dans un processus, quelque chose en ressort. Nous nous tenons des deux côtés de cette entrée et de cette sortie, qu'il s'agisse d'un système économique, d'un compilateur ou de la pensée d'une autre personne. Le paradigme fondamental de nos interactions avec ce genre de systèmes est l'instruction, et les résultats insatisfaisants de nos interactions avec ces systèmes sont des erreurs". Du côté de l'autonomie, "le paradigme fondamental de nos interactions avec un système autonome est la conversation, et, lorsque ce genre d'interaction donne des résultats insatisfaisants, nous parlons d'incompréhension"³⁵. Pour F. Varela, ces deux thèmes ne sont pas exclusifs et la compréhension d'un système complexe passe par

³³ H. ATLAN : *Entre le cristal et la fumée - Essai sur l'organisation du vivant*, Seuil, 1979, p. 14 et suivantes.

³⁴ F. VARELA : *Autonomie et connaissance - Essai sur le Vivant*, Seuil, 1989, p. 9.

³⁵ *Idem*, p. 8.

l'acceptation de la complémentarité entre autonomie et commande³⁶. Aussi, la représentation collective de la performance doit intégrer cette vision multiple, et permettre de comprendre les effets du dosage entre téléologie et téléonomie sur la performance globale du système.

Enfin, la reconnaissance de rationalités spécifiques pour chaque acteur implique que l'organisation prenne en compte les aspirations individuelles de ses membres dans le cadre d'une recherche consensuelle de performance globale, au sens non seulement économique mais également social. Nous avons déjà souligné que les objectifs économiques étaient multiples au sein d'une organisation productive³⁷, et ces objectifs doivent également être complétés par des objectifs sociaux. Ainsi, il apparaît que l'entreprise Toyota oriente actuellement sa démarche Kaizen pour humaniser son système de production, et essaie de sortir du strict modèle juste-à-temps pour donner une nouvelle dimension plus humaine à son système de production³⁸. Dans ce but, elle renonce partiellement à quelques principes de base définis par T. Ohno³⁹ et reconnaît par exemple l'intérêt de la présence d'un minimum de stock tampon ou de la réintroduction du contrôle qualité et de retouches en bout de chaîne, parce qu'elle considère que la gestion à flux tendu est trop éprouvante pour les personnes⁴⁰.

En résumé, nous avons identifié un certain nombre de propriétés indispensables pour utiliser des représentations collectives comme support d'une évaluation dynamique de performances : différentes du modèle comptable statique traditionnel, ces représentations sont le support des comportements de gestion jusqu'au plus près du flux de production. Elles sont multiples dans leurs logiques, induisant dans des processus multi-étapes des rationalités multi-critères et multi-acteurs. Ces rationalités s'expriment enfin dans un nécessaire équilibre entre autonomie et commande. Nous allons voir que la déclinaison opérationnelle de ces contraintes mène de plus à des représentations de type multi-niveaux.

³⁶ *Idem*, p. 13.

³⁷ Cf. Chapitre 2, section 1, 2.2.

³⁸ K. SHIMIZU : "Kaizen et gestion du travail chez Toyota Motor Kyushu - un problème dans la trajectoire de Toyota", in *GERPISA - Deuxième Rencontre internationale - Les nouveaux modèles industriels des firmes automobiles*, juin 1994, p. 23.

³⁹ Cf. Chapitre 3, section 2, 2.1.

⁴⁰ M. FREYSSENET : "Du toyotisme réel à un nouveau toyotisme", in *Un nouveau Toyotisme ?*, Actes du GERPISA n° 8, 1994, p 23.

2.2 Une approche multi-niveaux de la performance collective

Le nature systémique de l'évaluation dynamique lui confère un caractère multi-acteurs et multi-critères qui implique pour J. H. Jacot "la reconnaissance de trois niveaux trop souvent confondus dans l'évaluation économique : le niveau *physique*, le niveau *marchand* et le niveau *financier*"⁴¹.

Au niveau physique se pose la question de la quantité de facteurs utilisée par rapport au volume de production réalisé. Nous avons vu qu'un niveau de production donné pouvait être atteint d'une multitude de façons différentes selon la dose de chacun des facteurs, et que la théorie néoclassique préconisait la construction d'isoquants comme ensembles de combinaisons *techniquement efficaces*⁴². C'est pourquoi le niveau physique renvoie en première approche à un concept d'*efficacité*, au sens des moyens utilisés dans le processus de production, et le critère traditionnellement utilisé pour la mesure de cette efficacité est la productivité. Dans le cadre des modèles taylorien-fordien, cette efficacité s'assimilait en général à la productivité apparente du travail, considéré comme facteur de production dominant. En revanche, dès lors que plusieurs facteurs interviennent simultanément, des écarts existent entre le rendement d'un facteur et l'efficacité globale, comme le montre l'exemple de la sous-utilisation pertinente d'un équipement au profit d'un gain plus global⁴³. Aussi, dans le contexte actuel, J. H. Jacot indique que les voies d'amélioration pour l'évaluation du niveau physique consistent à envisager des outils fondés sur la productivité globale des facteurs, et non sur la productivité locale de facteurs considérés isolément.

Cependant, nous avons vu également que le critère d'efficacité technique ou technologique ne suffisait pas pour guider la décision puisque, selon l'hypothèse de substitution, plusieurs possibilités également efficaces subsistent en général. L'utilisation de la valorisation par les coûts, parfois simplifiée par l'équivalence entre le coût global et le coût d'un facteur de production dominant, permettait alors selon la théorie néoclassique le passage à un concept d'efficacité économique menant au choix de la combinaison la moins coûteuse pour l'entreprise. C'est ici que J. H. Jacot distingue un niveau *marchand*, ou encore *industriel et commercial*, auquel correspond un objectif de compétitivité, classiquement mesuré par une profitabilité⁴⁴ des produits. Et dans le contexte actuel, le

⁴¹ J. H. JACOT : "A propos de l'évaluation économique des systèmes intégrés de production", *op. cit.*, p. 65.

⁴² Cf. Chapitre 2, section 1, 1.1.

⁴³ Cf. Chapitre 2, section 1, 1.2.

⁴⁴ Rapport d'un profit sur un volume de production ou un chiffre d'affaires. J. H. JACOT : "A propos de l'évaluation économique ...", *op. cit.*, p. 64.

passage de la productivité à la compétitivité ne peut plus être réduit à un processus néoclassique de valorisation par les coûts permettant de choisir un point économiquement efficace sur l'isoquant : "la différence de niveau, ou de nature, par rapport à la productivité ne tient pas seulement à la prise en compte des prix des facteurs et des produits. Car à côté de la *compétitivité prix*, la *compétitivité hors prix* prend de plus en plus d'importance dans la concurrence nationale et internationale"⁴⁵. Et cette compétitivité ne dépend pas uniquement de la productivité du niveau physique, elle intègre également les orientations vers l'intégration et la flexibilité, à travers les pôles classiques de l'excellence industrielle (qualité, fiabilité, fluidité, réactivité, ...), passant ainsi de l'ancienne profitabilité des produits à une notion d'*efficience* qui concerne également la compétitivité hors-prix commerciale (travail de marketing et de vente). Cette compétitivité hors prix passe notamment par les capacités individuelles et collectives des personnes au travail à :

- "prendre en compte la qualité des services rendus aux utilisateurs de leur activité,
- élever la qualité et la pertinence même de leur activité professionnelle en *créant de la valeur d'usage avec efficience*, c'est-à-dire en élevant le niveau de qualité des prestations qu'ils offrent, tout en économisant in fine les ressources (en matières, en équipement, en énergie, ...) utilisées,
- créer des ressources nouvelles en générant une nouvelle croissance plutôt qu'en privilégiant systématiquement une baisse des coûts"⁴⁶.

Enfin, au niveau *financier* est traditionnellement rattaché un critère de maximisation des capitaux propres. Dans le cadre d'un processus d'évaluation dynamique adapté au contexte actuel, ce critère unique pourra évoluer vers des objectifs multi-critères de satisfaction (trésorerie, chiffre d'affaires, valeur ajoutée, croissance, ...)⁴⁷, en situation de rationalité limitée⁴⁸. Le niveau financier renvoie ainsi à un concept d'*effectivité* qui correspond à la finalité du système dans sa globalité. En montant du niveau physique vers le niveau financier, nous passons ainsi de l'efficacité définie par J. L. Lemoigne comme "un concept monocritère, monodimensionnel, simple, pertinent en dimension fermée et très

⁴⁵ *Idem*, p. 66.

⁴⁶ Commissariat Général du Plan : *La performance globale : outils et évaluation*, *op. cit.*, p. 12. Nous voyons en particulier que le concept d'efficacité au sens du non gaspillage des ressources (définition de l'isoquant) reste présent parmi les critères d'efficience.

⁴⁷ Cf. Chapitre 2, section 1, 2.2.

⁴⁸ J. H. JACOT : "A propos de l'évaluation économique ...", *op. cit.*, p. 68.

structurée"⁴⁹, à l'effectivité qui "s'évalue par un vecteur multidimensionnel rapportant le comportement d'un système à ses finalités"⁵⁰.

Ainsi, et à l'opposé de l'approche néoclassique qui regroupe les trois niveaux dans une mesure unidimensionnelle centrée sur les coûts (la rentabilité coïncide avec une compétitivité prix issue de la productivité du travail), nous devons définir une représentation collective qui respecte la spécificité des niveaux, ainsi que la diversification des critères à retenir pour chacun d'eux. De plus, la nécessité d'une vision globale imposera de bien représenter les liens entre ces niveaux, et notamment les interactions fortes entre flux physique et flux financier. Notons enfin que lors du passage d'une mesure statique à un processus dynamique et multi-niveau estimant l'efficacité, l'efficience et l'effectivité, l'évaluation économique des organisations intégrées s'intéresse à des domaines de compétence spécifiques : compétences opérationnelles, compétences industrielles et commerciales, compétences financières. La reconnaissance de ces différents niveaux de compétence amène naturellement à considérer l'investissement immatériel comme composante essentielle de la performance industrielle⁵¹. Décrivant les nouvelles relations entre le capital et la compétence, C. Afriat les caractérise par "une mobilisation des potentiels, dans un nouveau partage des responsabilités, par une élévation du niveau culturel et, enfin, par une acceptation du fait que le changement concerne tout le monde et que chacun peut y contribuer"⁵². Nous retrouvons ici à la fois l'aspect mobilisateur et l'aspect collectif de l'évaluation dynamique décrite par J. H. Jacot. La performance passe donc à présent par un *investissement dans l'intelligence*, défini comme "la mise en oeuvre d'une pensée globale qui mise délibérément sur l'introduction de l'intelligence dans les processus de conception, de production, de commercialisation, dans l'organisation des rapports de travail et de communication"⁵³. En réponse au nouveau contexte industriel, les organisations productives doivent donc favoriser la mise en oeuvre de processus cognitifs au plus près du flux de conception et de fabrication, de façon à améliorer en permanence leur adaptabilité aux événements extérieurs. Nous allons détailler cette évolution majeure, qui s'exprime par un déplacement des systèmes d'information et de gestion, traditionnellement considérés comme des chaînes de traitement de l'information, vers des représentations intégrant la mise en oeuvre de processus cognitifs.

⁴⁹ J. L. LEMOIGNE : *La modélisation des systèmes complexes*, Dunod, 1990, p. 138.

⁵⁰ *Idem*.

⁵¹ Commissariat Général du Plan : *La performance globale : outils et évaluation*, op. cit., p. 14.

⁵² C. AFRIAT : *L'investissement dans l'intelligence*, PUF, 1992, p. 74.

⁵³ *Idem*, p. 75.

SECTION 2 : DU TRAITEMENT DE L'INFORMATION AUX PROCESSUS COGNITIFS

Nous avons montré comment l'évaluation économique se déplace en raison du nouveau contexte industriel vers un processus dynamique, et nous avons décrit les nouvelles règles de l'évaluation économique, présentée comme problème à résoudre. Ce processus dynamique renvoie l'action organisatrice dans une dimension collective, et les représentations de la firme doivent maintenant passer d'un outil traditionnel de mesure à des modélisations collectives intégrant la multiplicité des acteurs, des niveaux et des critères. Ces représentations collectives sont le support des comportements de gestion jusque dans le système physique de production, et les organisations productives doivent favoriser la mise en oeuvre de processus cognitifs et l'émergence de solutions innovantes, notamment au plus près du flux physique de fabrication.

C'est pourquoi la traditionnelle séparation entre sous-système d'information et sous-système de décision, qui correspondait à la vision cybernétique d'une firme très dirigée n'est plus pertinente, car la nécessaire autonomie des acteurs ne peut s'exprimer que dans le cadre d'une évolution du statut de l'information. Nous allons décrire à présent cette évolution qui se traduit notamment par le passage d'un processus de manipulation de symboles selon une suite d'instructions données à un processus d'action productive⁵⁴ fondé sur des concepts de connaissance et d'apprentissage. Nous montrerons ensuite comment les nouveaux déterminants de la performance se déclinent suivant cette nouvelle dimension cognitive.

1. De l'instruction donnée à l'apprentissage construit

Pour aborder le domaine des sciences cognitives, nous utiliserons en particulier la métaphore biologique, car il nous semble que les organisations productives peuvent être comparées à des systèmes organisés intelligents au sein desquelles des processus cognitifs se développent en permanence. Aussi, nous situerons dans l'histoire récente des sciences cognitives la problématique de l'évolution du statut de l'information, ce qui permettra en particulier d'établir clairement les limites théoriques des modèles de contrôle cybernétiques.

⁵⁴ Le terme d'*action productive* est utilisé cette fois-ci dans le sens cognitif défini par F. Varela. Il correspond à l'enaction d'une signification par l'entremise d'un réseau d'éléments inter-connectés qui évoluent ensemble. Cf. F. VARELA : *Connaître les sciences cognitives, tendances et perspectives*, Seuil, 1989, p. 112.

Nous développerons ensuite les concepts de connaissance et d'apprentissage afin de définir un cadre d'approche que nous utiliserons pour décrire selon un point de vue économique les nouveaux déterminants cognitifs de la performance des organisations productives.

1.1 De la manipulation de symboles à l'action productive

Dans une vision très cybernétique, liée au concept d'allonomie ou de commande, et qui sous-tend les modèles traditionnels de régulation des systèmes de production, la notion d'information était associée à *l'instruction* et à *la représentation*. L'exemple de la planification classique de type MRP est précisément caractéristique de la conception de l'information comme suite d'instructions. Nous avons vu⁵⁵ que ce processus de planification se déroulait du haut vers le bas, selon un ordre hiérarchique partant des décisions stratégiques pour aller jusqu'aux décisions opérationnelles. Dans cette approche, l'information descendante s'identifie à une *suite d'instructions données*, qui traverse successivement les différents niveaux hiérarchiques. Le passage d'un niveau à l'autre est en général réalisé par une déclinaison temporelle de la suite d'instructions reçue du niveau supérieur (transformation d'un plan industriel et commercial par mois, en un programme directeur de production par semaines). Nous avons indiqué d'autre part l'existence dans le modèle MRP de retours d'informations liés à des mécanismes de suivi et de contrôle d'exécution par mesure des écarts. A nouveau, l'information est ici utilisée selon une démarche très cybernétique, pour permettre le passage du modèle de contrôle direct en boucle ouverte au modèle de régulation en boucle fermée⁵⁶. Rappelons également que ce modèle MRP s'accommodait mal de la présence d'autonomie, à tel point qu'aucune décision ne devait a priori avoir lieu dans le flux physique lui-même.

L'exemple de la planification classique de type MRP est également caractéristique de la conception de l'information comme représentation. En effet, lors de la mise en place d'un système de gestion suivant les concepts MRP, une correspondance est établie entre le processus de production et le système de traitement de l'information, en particulier par l'élaboration des fichiers articles, gammes et nomenclatures. Le concepteur du système cherche alors à créer l'image la plus fidèle possible du processus réel de production, la précision de la représentation étant un déterminant majeur de la capacité du système à résoudre le problème posé, c'est-à-dire à donner une planification (comme suite d'instructions) cohérente.

⁵⁵ Cf. chapitre 2, section 3, 2.1.

⁵⁶ En référence aux modèles décrits dans le chapitre 1, section 3, 1.2.

L'approche exclusivement représentative et instructive de l'information que nous venons de décrire est en stricte correspondance avec le recours systématique à la technologie, et notamment à l'informatisation, dans un but de contrôle de la complexité croissante des systèmes industriels en environnement incertain⁵⁷. Le constat que nous faisons sur les limites de la technologie, voire du scientisme, et le constat d'un nécessaire recours à une approche organisationnelle prennent donc ici une nouvelle dimension par rapport au statut de l'information, et dans le cadre du nécessaire équilibre entre autonomie et commande. C'est pourquoi F. Varela, qui qualifie de *paradigme de l'ordinateur* la vision de l'information comme représentation et instruction, indique que le passage de la perspective de commande à celle d'autonomie nécessite en réalité une conception très différente de la notion d'information. Il note ainsi, notamment à propos des systèmes biologiques mais également à propos des systèmes complexes en général, que "nous sommes conduits, pour traiter de l'autonomie, à reconsidérer le concept d'information lui-même, en nous intéressant moins à l'instruction qu'à la façon dont l'information est construite, et moins à la représentation qu'à la façon dont un comportement adéquat reflète la viabilité du fonctionnement du système"⁵⁸.

Ce déplacement du statut de l'information mérite d'être replacé dans le contexte général d'évolution récente des sciences cognitives. F. Varela distingue quatre étapes fondamentales dans l'histoire de ces sciences⁵⁹. La première correspond au mouvement cybernétique que nous avons présenté dans le premier chapitre. La seconde est caractérisée par l'hypothèse cognitiviste. Cette hypothèse part du principe selon lequel "l'intelligence (y compris l'intelligence humaine) est tellement proche de ce qu'est intrinsèquement un ordinateur que la cognition peut être *définie* par la *computation* de représentations symboliques"⁶⁰. En d'autres termes, la cognition se définit par le traitement de l'information, au sens de la manipulation de symboles à partir de règles, et un système cognitif fonctionnera de manière appropriée quand les symboles représentent précisément le monde réel, et quand le traitement de l'information aboutit à une solution efficace du problème soumis au système⁶¹.

⁵⁷ Cf. chapitre 3, section 2, 1.2.

⁵⁸ F. VARELA : *Autonomie et connaissance - Essai sur le Vivant*, Seuil, 1989, p. 9.

⁵⁹ F. VARELA : *Connaître les sciences cognitives, tendances et perspectives*, Seuil, 1989.

⁶⁰ *Idem*, p. 36.

⁶¹ *Ibid.*, p. 42.

Les limites de cette approche concernent à la fois le principe de la computation et celui de représentation. Ainsi, le principe de computation est critiqué dans le fait qu'il renvoie à un traitement symbolique de l'information selon des règles appliquées *séquentiellement*, et selon des processus *localisés*⁶². A l'opposé, les systèmes organisés intelligents semblent au contraire fonctionner selon des processus à la fois *parallèles* et *distribués*. D'autre part, le principe de représentation est également critiqué parce qu'il renvoie à l'utilisation de symboles censés représenter le monde réel et censés en contenir explicitement le sens. Or il n'est à nouveau pas certain que ce mode de représentation soit approprié pour rendre compte correctement des phénomènes cognitifs au sein des systèmes intelligents.

Ce sont ces limites qui mènent à une troisième étape identifiée sous le terme de *connexionnisme*. Ce courant définit la cognition comme "l'émergence d'états globaux dans un réseau de composants simples", et un système cognitif fonctionnera alors de manière appropriée quand "les propriétés *émergentes* amènent une solution adéquate pour une tâche donnée"⁶³. Il ne s'agit plus de vouloir représenter fidèlement le réel par des symboles contenant un sens explicite, mais de connecter ensemble des éléments actifs ayant un comportement propre, et d'où émergera globalement et spontanément une solution satisfaisante à un problème donné. Cette approche, qui provient de travaux biologiques et en particulier de l'observation du fonctionnement et de l'interconnexion de neurones dans le cerveau, possède pour nous un grand intérêt en raison de la similitude avec les organisations productives que nous pourrions ainsi considérer comme réseaux d'éléments réactifs qui interagissent entre eux.

Cependant, le connexionnisme a également été critiqué parce qu'il ne s'adresse qu'à la résolution d'un problème donné et prédéterminé, alors que "la plus importante faculté de toute cognition vivante est de *poser* les questions pertinentes qui surgissent à chaque moment (...)"⁶⁴. En effet, et comme le remarque également J. L. Lemoigne, la tâche la plus essentielle n'est pas de résoudre un problème présumé déjà bien posé, mais de formuler les problèmes qu'il s'avérera pertinent de résoudre : "il faut apprendre à résoudre le problème qui consiste à poser le problème"⁶⁵. Une quatrième étape de l'évolution des sciences

⁶² *Ibid.*, p. 55.

⁶³ *Ibid.*, p. 77.

⁶⁴ *Ibid.*, p. 91.

⁶⁵ J. L. LEMOIGNE : *La modélisation des systèmes complexes*, Dunod, 1990, p. 66.

cognitives, identifiée sous le nom d'*énaction*, se réfère ainsi au problème de la résolution de problème. Les questions n'y sont pas prédéfinies, et les composants autonomes du système cognitif font émerger un monde signifiant en fonction de l'historique de leurs relations avec d'autres composants et avec l'environnement⁶⁶. En d'autres termes, les interactions entre les acteurs d'un système organisé intelligent et avec le monde extérieur donnent naissance à un processus de créativité permanente, à condition que ces acteurs puissent évoluer avec une autonomie suffisante. Ce processus de créativité n'est pas orienté vers la résolution d'un problème particulier prédéfini, mais possède au contraire un caractère très général qui lui confère la capacité de créer les questions pertinentes à chaque étape du problème. Un système cognitif de ce type fonctionnera de manière appropriée à la seule condition qu'il se trouve en continuel développement. D'autre part, le modèle d'énaction ne fait plus appel à des symboles représentant fidèlement et de façon statique le monde réel pour en emmagasiner le sens, mais compte sur l'action dynamique des composants du système intelligent pour produire du sens à chaque instant, sans contrainte de finalité arrêtée. Au lieu d'interpréter une organisation productive comme un réseau de neurones, c'est-à-dire comme l'association d'éléments réactifs tous identiques, il semble donc préférable de l'aborder comme une association d'acteurs actifs spécifiques dotés de comportements propres.

Nous résumons par ce tableau inspiré de F. Varela cette évolution des sciences cognitives⁶⁷ :

DEPUIS	VERS
dédié à une tâche	créatif
résolution de problème	définition de problèmes
centralisé	distribué
séquentielle, hiérarchique	parallèle
prédéfini	énacté
représentation	action productive

Tableau 5 : L'évolution des sciences cognitives

⁶⁶ F. VARELA : *Connaître les sciences cognitives, tendances et perspectives*, op. cit., p. 112.

⁶⁷ *Idem*, p. 120.

De plus, et à la différence de l'approche cybernétique qui recherche la stabilité interne d'un système, ces nouvelles approches réclament une dynamique suffisante pour que le processus de créativité issu de l'action productive des composants du système se développe continuellement. A l'opposé de l'approche cybernétique du traitement de l'information, qui considérerait le bruit comme un élément perturbateur à filtrer pour assurer une bonne réception du signal⁶⁸, H. Atlan a montré qu'une certaine quantité d'indétermination était en pratique toujours présente, et même indispensable au fonctionnement d'une organisation. En effet, il apparaît que les organismes vivants possèdent une très forte capacité de réaction aux facteurs d'agression aléatoire de l'environnement, contrairement aux architectures artificielles de traitement de l'information qui sont en général très sensibles aux défaillances d'un seul de leur composant⁶⁹. En réalité, la faculté d'intégrer des perturbations dynamisantes donne à un système la capacité de s'adapter continuellement à des situations nouvelles, au lieu de se figer définitivement dans un état particulier, et mène à considérer ces perturbations dans un sens positif : "à partir du moment où le système est capable de réagir (aux erreurs), de telle sorte non seulement à ne pas disparaître, mais encore à se modifier lui-même dans un sens qui lui est bénéfique, ou qui au minimum préserve sa survie ultérieure, autrement dit, à partir du moment où le système est capable d'intégrer ces erreurs à sa propre organisation, alors celles-ci perdent a posteriori un peu de leur caractère d'erreur"⁷⁰.

Nous retrouvons ici le besoin de rencontres informationnelles entre les acteurs d'un système organisé intelligent et le monde extérieur, qui donnent naissance aux processus de créativité permanente de la théorie de l'énaction. Mais ces effets bénéfiques du bruit environnant n'émergeront que dans la mesure où le système possède la capacité de réagir à ces sollicitations externes, ce qui renvoie naturellement à son degré d'autonomie. Ainsi, une agression de l'environnement (bruit perturbateur) ne peut qu'être considérée comme une désorganisation si elle intervient au milieu d'une séquence d'instructions préétablie et figée (autonomie forte). Elle participera en revanche à enrichir la quantité d'informations du système s'il possède l'autonomie suffisante pour évoluer par rapport à l'événement.

A ce propos, nous avons mentionné les concepts d'intégration et de différenciation développés par R. Lawrence et J. Lorsch comme mode d'évolution structurelle d'un système qui modifie ses projets dans le cadre d'un rapport changeant avec l'environnement⁷¹. Dans

⁶⁸ Cf. *supra*, chapitre 1, section 2, 1.1.

⁶⁹ H. ATLAN : *Entre le cristal et la fumée - Essai sur l'organisation du vivant*, Seuil, 1979, p. 41.

⁷⁰ *Idem*, p. 57.

⁷¹ Cf. chapitre 1, section 3, 1.2.

cette approche, le bruit provenant des conflits interpersonnels issus de la différenciation au sens des "différences d'attitudes et de comportement"⁷² était effectivement considéré comme inévitable, et nécessaire à la bonne adaptabilité de l'organisation, grâce à la variété des façons de penser qui en résultent⁷³.

Notons enfin en écho au dosage entre la commande et l'autonomie, que les processus cognitifs qui se déroulent au sein des organisations productives ne peuvent toutefois s'affranchir des contraintes opérationnelles liées aux finalités du système. Aussi, la vision extrême de l'énaction comme processus permanent d'action productive sans contrainte de finalité arrêtée doit être relativisée, et dosée en juste harmonie avec des processus de manipulation de symbole propres à la résolution de problèmes spécifiques et déjà connus. Nous reviendrons plus loin sur cet équilibre qui renvoie également au dosage entre la sphère de valorisation des ressources et la sphère de création de ressources nouvelles.

1.2 Connaissances et apprentissage

Il faut noter que le courant cybernétique traitait déjà de la question de l'évolution d'un système dans un contexte mouvant, notamment à travers les notions d'*adaptation* et d'*apprentissage*. En effet, la notion d'adaptation se référait non seulement au pilotage en environnement assez stable (concept de régulation), mais également en environnement instable par modification des paramètres de contrôle, en particulier dans le cadre du modèle de régulation de type "ultra-stable" de R. Ashby⁷⁴. J. Mélése indiquait à propos de ce modèle que l'adaptation s'y réalisait par un mécanisme d'essais-erreurs, qui consistait à sélectionner un état, constater les résultats, et conserver la configuration atteinte lorsqu'elle était satisfaisante⁷⁵. Cette démarche était rendue possible par la présence du module de contrôle de niveau supérieur qui jouait un rôle d'écran entre la variété de l'environnement et la boucle de régulation, ménageant ainsi les plages de stabilité indispensables pour le bon déroulement de la procédure d'essais-erreurs. Le bruit extérieur était considéré comme déclencheur d'évolution, avec cependant des conditions de filtrage fortes, destinées à

⁷² R. LAWRENCE et J. LORSCH : *Adapter les structures de l'entreprise : Intégration ou différenciation*, Editions d'organisations, 1973, p. 21.

⁷³ *Idem*, p. 24.

⁷⁴ Cf. Chapitre 1, section 3, 1.2.

⁷⁵ J. MELESE : *La gestion par les systèmes*, Editions Hommes et Techniques, 1968, p. 207.

protéger le système d'une exposition trop directe aux instabilités, qui l'empêcherait de trouver sa plage d'équilibre.

En réalité, le modèle ultra-stable ne pouvait que rechercher une solution par ajustement de paramètres de régulation, dans le cadre d'un schéma de fonctionnement prédéfini, pour répondre à une classe de problèmes donnée. Le module supérieur de contrôle avait précisément pour rôle de cantonner le régulateur dans cette classe de problèmes. Le courant cybernétique a ensuite développé la notion d'apprentissage, définie comme "la faculté d'utiliser les effets passés de l'adaptation"⁷⁶. L'apprentissage se manifestait donc par la capacité d'atteindre plus rapidement qu'auparavant une zone de stabilité satisfaisante, face à un type de perturbation extérieure connu car déjà subi dans le passé.

Cette vision cybernétique de l'adaptation et de l'apprentissage correspondait à la recherche de la solution à un problème parmi un ensemble de possibilités prédéfinies au départ. Elle n'intégrait pas pleinement les capacités productives de l'autonomie, et notamment sa dimension créatrice qui mène à inventer une solution nouvelle au lieu de réutiliser une parade connue. C'est pourquoi le statut de l'information doit changer dès lors que nous acceptons l'existence de comportements autonomes tirés par des rationalités propres au sein des organisations productives. En particulier, nous sommes bien ici confrontés à un déplacement du concept d'information vers celui de la connaissance, et du concept de traitement de l'information vers celui de processus cognitif. En effet, dans un modèle de contrôle sans autonomie, l'exécution d'une suite d'instructions déclinée selon les niveaux de hiérarchie ne faisait appel au niveau du flux physique de production qu'à un savoir-faire exécutif de type technologique. Si nous reprenons, en le complétant par ces nouveaux éléments, le tableau de classification des décisions construit au chapitre 1 ⁷⁷, nous voyons donc que l'instruction donnée agissait comme déclencheur de décisions programmées, c'est-à-dire de routines, ou encore d'actions :

⁷⁶ *Idem*, p. 208.

⁷⁷ Chapitre 1, section 3, 1.2.

Processus	traitement d'informations		processus cognitif
Concept	allonomie		autonomie
Support	information		connaissance
	instruction donnée		apprentissage construit
Rationalité	substantive		procédurale
Bruit	perturbateur		structurant
Information	parfaite		limitée
Décision	programmée	structurée	non structurée
Caractéristiques	action, routine	structures de raisonnement	critères multiples et formalisation difficile

Tableau 6 : Classification des décisions entre traitement d'informations et processus cognitif

En revanche, un modèle intégrant l'autonomie des acteurs renvoie nécessairement à des décisions (structurées ou non structurées), qui nécessitent la mise en oeuvre de processus cognitifs, et s'appuient sur le concept de connaissance et plus seulement d'information instructive. A la suite de J. G. Ganascia, nous désignons ici par *connaissance* le "rapport général d'un sujet à un objet"⁷⁸, en précisant bien que ce rapport est difficilement formalisable ou même exprimable, et ne peut en tout cas pas être réduit à une représentation symbolique signifiante, au sens du principe de computation, c'est-à-dire au sens des structures de données employées dans les langages de traitement de l'information. Le concept de connaissance peut alors être décliné en trois catégories auxquelles seront ensuite associées des activités cognitives de différents niveaux. Ainsi, en s'appuyant sur les travaux de J. Rasmussen, J. M. Hoc distingue⁷⁹ :

- les connaissances *routinières*, qui se manifestent par des actions automatiques, et qui sont obtenues par la répétition d'une série de situations correspondant à des conditions extrêmement proches, en environnement stable,
- les connaissances *opératives* qui sont finalisées et spécifiques d'un domaine, qui proviennent de la pratique répétée de tâches ou d'expériences analogues sans être exactement identiques, dans un environnement déjà instable,

⁷⁸ J. G. GANASCIA : "L'hypothèse du "Knowledge level" : théorie et pratique", in *Rapport du laboratoire formes et intelligence artificielle*, Université PARIS VI, CNRS, Octobre 1991, p. 5.

⁷⁹ J. M. HOC : *Psychologie cognitive de la planification*, PUG, Grenoble, 1987.

- les connaissances *générales* de haut niveau, qui sont utilisées dans le cadre de situations nouvelles ou exceptionnelles, qui font appel à des références de logique et de bon sens, et qui sont exemptes de contraintes de finalité.

Ces trois classes renvoient ensuite à des niveaux d'activités différents : les connaissances routinières et les connaissances opératives sont utilisées pour l'exécution de procédures prédéfinies de résolution de problèmes. Ce type d'activité est pas ou peu créatif, dans la mesure où il correspond à la répétition de situations passées identiques ou analogues. En revanche, les connaissances générales de haut niveau seront utilisées lors de processus de recherches de solutions nouvelles à un problème posé, et mises en oeuvre dans des démarches créatives de formulation de problème.

Cette classification des connaissances nous permet d'aborder à présent l'apprentissage selon un point de vue cognitif, et non plus cybernétique. Selon une première définition issue de la psychologie scientifique, et qui correspond à une acceptation plus générale que l'usage commun, l'apprentissage recouvre "toute modification stable des comportements ou des activités psychologiques attribuable à l'expérience du sujet"⁸⁰.

Dans le cas de l'apprentissage de la réalisation d'une tâche précise, les connaissances utilisées se déplacent progressivement du niveau général vers le niveau routinier, tandis que le niveau d'activité descend d'une démarche créative de définition de problème vers un traitement automatique d'exécution. Ce déplacement correspondrait à une sorte d'affinage des procédures de résolution, par élimination des informations non directement pertinentes dans ces procédures. L'apprentissage pourrait donc être défini comme le processus de remplacement progressif des connaissances générales par des connaissances routinières.

Cependant, d'une part les connaissances routinières deviennent très vite obsolètes en environnement instable, et d'autre part cette vision limitative de l'apprentissage ne prend pas en compte la faculté d'un système intelligent de progresser dans la démarche de formulation de problème par enrichissement des connaissances générales de haut niveau. C'est pourquoi H. Dreyfus considère que l'apprentissage correspond en réalité davantage à l'acquisition de "justes jugements" par opposition à "enregistrer" ou "répéter"⁸¹, et que le résultat d'un apprentissage efficace doit être perçu comme une amélioration dans l'aptitude à concevoir le

⁸⁰ J. F. LE NY : Encyclopédia Universalis, 1968, p. 173, définition citée dans : M. HOLLARD (dir.) : *Génie industriel : les enjeux économiques*, PUG, 1994.

⁸¹ H. DREYFUS : *Intelligence artificielle - mythes et limites*, Flammarion, 1984, p. 65.

problème⁸². Cette approche situe la démarche d'apprentissage au niveau des connaissances générales, et non plus au niveau des connaissances routinières. Elle correspond à un processus d'acquisition, par l'expérience, de connaissances de haut niveau.

Entre ces deux positions extrêmes, nous pouvons en fait distinguer trois classes d'apprentissage :

- un apprentissage *subi*, qui s'identifie au remplacement progressif de connaissances de haut niveau par des connaissances routinières, comme suite à la répétition de tâches identiques. Il mène à l'établissement de règles de décisions programmées, ou routines, et est déstabilisé par les phénomènes de bruit.
- un apprentissage *orienté*, dans lequel l'autonomie du sujet face aux perturbations permet la remise en question des routines précédemment établies ; la sélection d'une nouvelle classe de solutions parmi un ensemble connu est orientée par l'expérience de situations comparables, et ce processus de sélection sera de plus en plus rapide au fur et à mesure de l'accumulation d'expérience.
- un apprentissage *construit*, utilisé lorsque aucune solution satisfaisante n'est connue a priori ; le sujet doit alors développer un processus créatif d'invention, issu d'actions productives, et d'où émergera une nouvelle classe de solutions au problème. Conformément au concept d'énaction, ce type d'apprentissage résulte du couplage informationnel interne et externe des composants autonomes du système cognitif : l'historique des relations avec d'autres composants et avec l'environnement donne naissance à un processus de créativité permanente. La mémorisation de ces interactions entre les acteurs du système organisé intelligent et avec le monde extérieur enrichit l'expérience du système et favorise, selon la définition de l'apprentissage, l'émergence de nouvelles solutions.

Remarquons que C. Argyris et D. Schön⁸³ ont également défini trois types d'apprentissage : *l'apprentissage à une boucle*⁸⁴ dans lequel les membres de l'organisation détectent et corrigent des erreurs internes pour maintenir leur trajectoire selon des normes

⁸² *Idem*, p. 73.

⁸³ C. ARGYRIS et D. SCHÖN : *Organizational learning : a theory of action perspective*, Addison-Wesley Publishing Company, Massachussets, 1978.

⁸⁴ single-loop learning.

de performance inchangées, *l'apprentissage à double boucle*⁸⁵ dans lequel la correction d'erreurs passe par la modification des normes, et *l'apprentissage de second niveau*⁸⁶ qui se réfère à l'aptitude à concevoir un problème. Si les deux derniers types correspondent bien aux apprentissages orientés et construits de notre classification, nous estimons en revanche que l'apprentissage à simple boucle est plus proche de la régulation cybernétique que de la modification de comportement attribuable à l'expérience. Aussi nous garderons pour la suite de la démarche notre première classification.

Nous avons ainsi tracé un cadre d'approche des phénomènes cognitifs, que nous allons utiliser à présent pour décrire les nouveaux déterminants de la performance des organisations productives.

2. Déterminants cognitifs de la performance

Nous avons vu que l'évaluation économique des organisations intégrées passait d'une mesure statique à un processus dynamique et multi-niveau estimant l'efficacité, l'efficience et l'effectivité selon des domaines de compétence spécifiques : compétences opérationnelles, compétences industrielles et commerciales, compétences financières. Nous avons vu également que dans un environnement complexe et instable, la "valeur" d'une organisation dépendait de sa capacité à combiner des compétences spécialisées pour réagir continûment aux sollicitations extérieures nouvelles. A l'*entreprise-facteurs* qui optimise le rendement au niveau physique selon une logique statique d'affectation de ressources limitées par l'horizon technologique succède ainsi l'*entreprise-compétences* qui intègre les composantes hors-prix dans une recherche dynamique de performance fondée sur l'innovation et la créativité, et qui développe la spécificité de ses facteurs de production par un apprentissage collectif qu'elle cherche à favoriser⁸⁷.

Ce mouvement vers l'entreprise-compétences est considéré comme un renouvellement des pratiques organisationnelles : "le principe de la division du travail serait ainsi en train de glisser d'une logique technique et de rendement à une logique de compétence et d'apprentissage. On passerait ainsi d'une division technique à une division cognitive du

⁸⁵ double-loop learning.

⁸⁶ deuterio learning.

⁸⁷ P. MOATI et E. MOUHOUD : *Information et organisation de la production : vers une division cognitive du travail*, Cahier de recherche du CREDOC, avril 1993, p. 8.

travail"⁸⁸. Nous allons détailler cette évolution à travers la modification progressive du rôle de l'apprentissage dans les organisations productives. Nous montrerons ensuite l'émergence de l'opposition, en terme de performance, entre la recherche d'une efficacité statique de production et la recherche d'une efficacité dynamique d'innovation.

2.1 De l'apprentissage technique individuel à l'apprentissage organisationnel collectif

La question de l'apprentissage est considérée comme centrale dans l'analyse de la firme, notamment parce que "une caractéristique fondamentale de l'activité économique est qu'elle fournit l'opportunité d'un apprentissage, fruit de la répétition et de l'expérimentation, permettant une innovation permanente issue de l'acte de production"⁸⁹. De plus, la nature économique de l'apprentissage se renforce dès que l'on considère une entreprise dans le contexte de concurrence de son marché : "la firme construit par et pour elle-même une accumulation de savoirs afin de créer des avantages concurrentiels. Ce processus (...) affecte plusieurs domaines : technique, organisationnel, économique"⁹⁰. Le fait que cette accumulation soit construite *par* la firme elle-même pourrait renvoyer à une certaine idée d'indépendance vis-à-vis du monde extérieur dans le processus d'apprentissage. En réalité, et comme le précise C. Le Bas, cet apprentissage n'est pas purement endogène, car "la firme absorbe des informations et des technologies externes"⁹¹. Aussi, et pour analyser ces deux aspects de l'acquisition de savoirs, nous allons expliciter le cas d'un apprentissage purement endogène, puis celui d'un apprentissage purement exogène, dans le modèle taylorien-fordien et selon la vision néoclassique de la firme.

Notons tout d'abord qu'une firme donnée favorisera l'accumulation de savoirs sur les problèmes spécifiques ou essentiels dont dépendent son existence et son développement. Ainsi, "dans le modèle taylorien-fordien, l'apprentissage des savoir-faire reposait essentiellement sur la reproduction, la répétitivité des tâches. C'était un apprentissage limité générant une routine"⁹². Nous ajoutons qu'il s'agissait là d'un apprentissage technique et

⁸⁸ *Idem*, p 8.

⁸⁹ M. HOLLARD (dir.) : *Génie industriel : les enjeux économiques*, PUG, 1994, p. 45.

⁹⁰ C. LE BAS : "La firme et la nature de l'apprentissage", in *Economies et sociétés - La firme et la dynamique de l'apprentissage*, n° 5, mai 1993, p. 8.

⁹¹ *Idem*.

⁹² M. HOLLARD (dir.) : *Génie industriel : les enjeux économiques*, *op. cit.*, p. 104.

individuel, menant au remplacement progressif de connaissances de haut niveau par des connaissances routinières. Ce type de processus, également intitulé *learning by doing*, mène à la notion de courbe d'expérience qui exprime la diminution régulière du coût unitaire de production de la dernière unité produite⁹³. Lorsque la rentabilité coïncide avec une compétitivité prix issue de la productivité du travail, la firme a naturellement tendance à favoriser un apprentissage de ce type, notamment grâce au découpage et à la spécialisation des tâches opératoires sur le flux physique de production.

A l'opposé de l'acquisition de savoirs purement endogène que nous venons de décrire, le processus d'innovation technique est considéré comme purement exogène par la théorie néoclassique, dans la mesure où le changement technique est extrait d'un stock de connaissances ou d'inventions disponibles. Comme nous l'indiquons plus haut, l'entrepreneur est considéré comme confronté à une liste d'inventions connues parmi lesquelles il peut faire un choix⁹⁴. L'acquisition de savoirs pour la firme est cependant ici davantage le résultat d'un transfert de connaissances que le fruit d'un processus d'apprentissage, car aucune expérimentation n'intervient dans le processus d'augmentation de savoir technique.

Cette dichotomie théorique entre processus endogène et exogène est toutefois fortement remise en question dans le cadre des nouvelles approches de l'acquisition de savoirs par la firme. L'actuelle analyse économique de l'innovation substitue à l'approche du transfert néoclassique un changement technologique qui résulte d'un processus d'exploration et d'amélioration des solutions techniques existantes, c'est-à-dire d'un processus effectif d'apprentissage, dans un sens progressif et cumulatif : "le champ des solutions techniques non exploitées et exploitables à un certain moment est déterminé par la dernière solution mise en oeuvre, et par la totalité de la connaissance (ou l'expérience au sens général) accumulée"⁹⁵. Cette approche, qui rejoint une rationalité procédurale et rappelle la démarche Kaizen, ne considère plus le changement technologique comme le résultat d'une innovation exogène, mais comme un processus actif et permanent liant les compétences internes de la firme et l'état de son environnement. Nous sommes alors dans une logique de dynamique de compétences qui amènera l'invention (l'émergence) d'une solution

⁹³ Cf. par exemple B. PAULRÉ : "Apprentissage et systémique - L'analyse du changement technique : entre préformisme et constructivisme", in *Economies et sociétés - La firme et la dynamique de l'apprentissage*, n° 5, mai 1993, p. 29.

⁹⁴ Cf. chapitre 2, section 1, 1.1.

⁹⁵ B. PAULRÉ : "Apprentissage et systémique - L'analyse du changement technique : entre préformisme et constructivisme", in *Economies et sociétés*, op. cit., p. 32.

satisfaisante à partir du couplage informationnel entre le monde extérieur et les acteurs de l'organisation intelligente.

D'autre part, les conditions de mise en oeuvre de l'innovation doivent également être *inventées* par le système. Nous avons indiqué que l'efficacité d'une combinaison complexe de machines, de techniques et de travail humain dépendait fondamentalement d'un facteur organisation, et nous avons insisté sur l'importance grandissante de la démarche de *mise en oeuvre* dans le cadre d'un processus de changement technologique⁹⁶. Cette évolution se retrouve également dans les nouvelles approches de l'apprentissage de la firme. En effet, comme le précisent C. Le Bas et E. Zuscovitch, le *learning by doing* "semble associé (dans sa formulation classique micro-économique) à une conception de la firme réduite à une fonction de production (une combinaison de facteurs)"⁹⁷. Aussi, et bien qu'ils considèrent que cette approche reste pertinente à un niveau agrégé, ils indiquent également que "si l'on revient au niveau micro-économique, l'apprentissage concerne certes des hommes mais également l'organisation".

C'est pourquoi C. Le Bas et E. Zuscovitch considèrent que les courbes d'expérience qui caractérisent la diminution progressive des coûts unitaires ne sont pas le seul fait d'un processus de type *learning by doing* à un niveau technique, mais intègrent également un apprentissage "incorporé à la structure"⁹⁸ impliquant notamment une acquisition de connaissances au niveau des méthodes de gestion de l'entreprise. En allant plus loin, nous pouvons dire que le nouveau contexte industriel, qui entraîne une reconnaissance des trois niveaux d'évaluation économique et en particulier l'émergence de la compétitivité hors-prix, renforce le déplacement de la notion d'apprentissage depuis le domaine technique vers le domaine organisationnel. En d'autres termes, l'amélioration de la compétitivité ne passant plus seulement par la diminution des coûts unitaires, mais par un ensemble plus varié de caractéristiques telles que les délais, la qualité ou la diversité, c'est la totalité de la structure, c'est-à-dire l'ensemble des acteurs de l'organisation, qui se trouve de plus en plus mobilisée dans les processus d'apprentissage. La recherche de la performance requiert donc pour la firme un déplacement depuis l'apprentissage technique et individuel, vers l'apprentissage organisationnel, qui est de plus, par nature, nécessairement social et collectif.

⁹⁶ Cf. Chapitre 3, section 1, 1.2.

⁹⁷ C. LE BAS et E. ZUSCOVITCH : "Apprentissage technologique et organisation", in *Economies et sociétés*, op. cit., p. 163.

⁹⁸ *Idem*, p. 155.

C'est pourquoi nous allons détailler la façon dont se décline dans l'entreprise cette notion d'apprentissage organisationnel et collectif et montrer ses liens avec le mouvement vers l'intégration et la flexibilité.

2.2 Entre efficacité statique de production et efficacité dynamique d'innovation

Pour décrire la composante organisationnelle forte du mouvement vers la flexibilité et l'intégration, nous avons détaillé les principales mesures adoptées lors de la mise en place de systèmes de production en juste-à-temps inspirés du modèle Toyota⁹⁹. Si nous reprenons quelques exemples parmi ces mesures, il s'avère clairement que le déplacement vers un apprentissage organisationnel, comme accumulation d'expériences collectives, rejoint bien les démarches vers la flexibilité et vers l'intégration des entreprises industrielles. C'est en particulier le cas pour la mise en oeuvre d'un système kanban de pilotage de fabrication en flux tiré. Nous avons d'ailleurs présenté ce système d'information proche du flux physique de production avant tout comme une technique d'amélioration permanente de la réactivité du système productif. En effet, un projet kanban mené jusqu'au bout consiste non pas en un dimensionnement définitif et statique des étiquettes en circulation, mais en un processus dynamique de diminution progressive et volontaire du nombre de ces étiquettes, de façon à réduire peu à peu les stocks d'en-cours pour tendre les flux. Dans une approche de type juste-à-temps, il est considéré que les stocks masquent un certain nombre de dysfonctionnements (implantations, changements d'outil, fiabilité, ...) et que ceux-ci émergeront grâce à la démarche de réduction progressive des stocks. Notons que la démarche procède par touches successives qui s'apparentent à l'essai-erreur : si le retrait d'une étiquette engendre une perturbation trop importante, cette étiquette est remise jusqu'à ce que la cause de la défaillance soit repérée et éliminée.

Il s'agit bien ici de la mise en oeuvre d'un processus d'apprentissage et non pas d'une simple régulation, car le système d'information et le système physique vont progresser simultanément, par réduction du nombre d'étiquettes d'un côté, et élimination des dysfonctionnements de l'autre, tandis que s'enrichira en même temps, et de façon autonome, la connaissance accumulée par les acteurs sur leur système de production. D'autre part, cette démarche est en général prise en charge par des *équipes* d'opérateurs, ce qui lui confère un caractère collectif, et non pas individuel. Il s'agit enfin d'un apprentissage *construit*, car à chaque étape itérative de la démarche d'amélioration, l'équipe doit développer un processus créatif d'invention face aux problèmes nouveaux qui surviennent.

⁹⁹ Cf. Chapitre 3, section 2, 2.1.

Plus globalement, ce processus d'émergence d'une créativité collective est traité par M. Aoki, notamment dans ses liens avec la structure formelle de la firme. Ses comparaisons entre des entreprises japonaises et américaines l'amènent déjà à constater que "au Japon, la résolution de problèmes tels que la lutte contre l'absentéisme, le mauvais fonctionnement de certaines machines, ou des défauts dans les produits, tend à être confiée à une équipe d'ouvriers de fabrication, alors qu'en Amérique, elle est confiée à des spécialistes"¹⁰⁰. Il ajoute que dans la firme américaine, "la coordination entre les différentes tâches, ainsi qu'entre les différents ateliers est elle-même devenue la fonction spécialisée de superviseurs ou de directeurs, et a rendu plus sophistiqué le contrôle hiérarchique dans l'usine", alors que la firme japonaise "semble reposer sur une structure moins hiérarchique qui facilite la coordination par des canaux horizontaux de communication entre personnes de même rang et entre ateliers"¹⁰¹. Ces observations constituent un point de départ à l'élaboration de deux modèles de firme : le modèle américain (firme A) et le modèle japonais (firme J). Sur le plan de la transmission de l'information en vue de la coordination des activités, la firme A se réfère à une structure hiérarchique verticale, tandis que la firme J utilise une structure de coopération horizontale. Le système kanban est pour M. Aoki une illustration typique de l'approche coopérative¹⁰², par opposition à la coordination centralisée issue de méthodes de planification hiérarchique (de type MRP par exemple). Les deux modèles diffèrent également dans le degré d'intégration entre les flux physiques et les systèmes de décisions : "les tâches de coordination et de production sont, dans la firme A, nettement séparées et spécialisées, alors que dans la firme J, elles tendent à être davantage intégrées"¹⁰³. En conséquence, le modèle de la firme J renvoie à une vision décentralisée de l'information et de la décision : "la structure interne de l'information dans la firme japonaise est plus décentralisée, car elle repose sur une communication horizontale entre des unités fonctionnelles, ainsi que sur la solution autonome des problèmes dans les unités de production individuelles, que permet l'esprit d'équipe et de coopération des ouvriers, par contraste avec des spécialisations excessives et fragmentées. Cette structure décentralisée se révèle favorable à une adaptation souple et rapide du processus productif à un marché et un environnement technologique en évolution constante"¹⁰⁴. Sur le plan cognitif, nous retrouvons donc bien ici l'autonomie comme condition première d'apprentissage, favorisant

¹⁰⁰ M. AOKI : *Economie japonaise - Information, motivations et marchandage*, Economica, 1991, p. 11.

¹⁰¹ *Idem.*

¹⁰² *Ibid.*, p. 26.

¹⁰³ *Ibid.*, p. 22.

¹⁰⁴ *Ibid.*

notamment la prise en charge et la résolution collective des événements induits par l'instabilité de l'environnement.

Pourtant, si l'apprentissage organisationnel construit, au sens du processus collectif d'invention face aux problèmes nouveaux, est un déterminant des performances en environnement instable, il peut également s'opposer à l'amélioration de l'efficacité conçue dans un sens plus statique mais toujours nécessaire. En effet, le principe du remplacement, selon un processus d'apprentissage subi, de connaissances de haut niveau par des connaissances routinières s'accommode mal de l'invention permanente de méthodes nouvelles, car cette innovation empêche l'accumulation d'expériences analogues qui est à la base du principe de remplacement. En d'autres termes, il y aurait opposition entre flexibilité dynamique et apprentissage construit d'un côté, et productivité statique et apprentissage subi de l'autre.

L'apprentissage subi mène à une efficacité statique, non seulement en terme de coûts (vision classique de la loi d'expérience qui mène à la réduction progressive des coûts unitaires) mais également en terme de qualité (par assimilation des procédures qualité) ou encore en terme de délais (par assimilation des procédures organisationnelles). Il participe donc aussi bien à la compétitivité prix par le biais de la productivité, qu'à la compétitivité hors-prix. Quant à l'apprentissage construit, il permet l'adaptation permanente de la firme à son environnement. Les deux semblent donc simultanément indispensables au fonctionnement d'une firme en environnement instable.

Notons que M. Hollard distingue ces deux pôles au sein de l'entreprise, et les nomme *sphère de valorisation des ressources* et *sphère de création de ressources nouvelles*¹⁰⁵. La première renvoie à l'amélioration des performances, tandis que la seconde renvoie à une dynamique d'aptitude définie comme "la capacité d'une entreprise à créer de nouvelles ressources et à se doter de nouvelles compétences à long terme"¹⁰⁶. Nous ajouterons cependant que la seconde sphère ne se conçoit pas pour nous uniquement dans le long terme, car les innovations doivent à la fois être permanentes (approche Kaizen) et immédiatement opérationnelles. Les deux sphères se superposent donc continuellement, et le dosage entre apprentissage subi et apprentissage construit est un déterminant cognitif fondamental des performances de la firme, qui renvoie à nouveau à la proportion d'allonomie et d'autonomie. Cela nous renvoie également au dosage entre d'un côté l'énaction comme processus permanent d'action productive sans contrainte de finalité arrêtée

¹⁰⁵ M. HOLLARD (dir.) : *Génie industriel : les enjeux économiques*, op. cit., p. 44.

¹⁰⁶ *Idem.*

qui alimente la sphère de création de ressources nouvelles, et de l'autre les processus de manipulation de symboles propres à la résolution de problèmes spécifiques et déjà connus qui alimentent la sphère de valorisation des ressources.

La recherche de performance pour une organisation productive apparaît donc à présent comme une synthèse entre l'amélioration continue de sa compétitivité d'une part, et sa capacité à créer en permanence de nouvelles formes de richesses d'autre part. Nous allons voir les conséquences que cette nouvelle définition de la performance induit sur les modèles de représentation des entreprises.

SECTION 3 : D'UNE HIERARCHIE DIRECTIVE A UNE ORGANISATION EN NIVEAUX D'INTEGRATION

L'utilisation d'une métaphore biologique, et l'interprétation des comportements des organisations productives à partir des propriétés des systèmes organisés intelligents, nous ont mené à reconsidérer le concept d'information. En particulier, nous avons vu émerger l'importance des processus de créativité issus des couplages informationnels internes et externes qui confèrent la capacité de créer les questions pertinentes à chaque étape du problème au lieu de le résoudre selon une démarche préétablie. Nous avons également identifié l'importance des concepts de connaissance et d'apprentissage, qui dépassent les phénomènes d'adaptation classiques étudiés par l'approche cybernétique, et qui interviennent comme des déterminants majeurs de la performance. Enfin, nous avons vu comment le passage d'un apprentissage technique individuel à un apprentissage collectif organisationnel était lié au mouvement vers la flexibilité et vers l'intégration. La dynamique d'amélioration d'une entreprise devient alors associée à sa capacité d'accumulation d'expériences collectives pour valoriser ses ressources et en créer de nouvelles.

Toutes ces évolutions modifient nécessairement les représentations que les acteurs se font de leur propre organisation. Or ces représentations conditionnent fortement les performances de l'organisation puisque nous avons vu que les décisions sont prises non pas en fonction d'une réalité objective trop complexe, mais à partir des représentations individuelles et collectives que les acteurs s'en font. C'est pourquoi nous allons présenter les conséquences induites sur les structures de représentation par l'évolution du concept d'information, et par le besoin croissant d'autonomie. Pour cela nous montrerons d'abord comment l'interprétation de la notion de hiérarchie doit se déplacer d'une vision linéaire vers une vision intégratrice, puis nous détaillerons la nature des projets qui se développent en permanence à l'intérieur des organisations productives.

1. Une nouvelle approche de la hiérarchie décisionnelle

1.1 L'organisation en niveaux hiérarchiques d'intégration

L'approche cybernétique explique l'existence d'une hiérarchie dans toute organisation humaine, à partir d'un stade de complexité donné, par la nécessité de stabiliser un système

vis-à-vis des perturbations extérieures grâce à un emboîtement de boucles rétroactives permettant des régulations de type ultra-stable. Cette interprétation, qui dépasse les notions de commandement ou d'autorité, correspond en fait à la nécessité d'absorber localement, à chaque niveau, une partie des perturbations que le niveau supérieur ne serait pas capable de contrôler dans sa totalité. Elle nécessite bien sûr que chaque acteur à son niveau dispose d'une certaine latitude décisionnelle pour réguler localement les conséquences des aléas de fonctionnement. D'autre part, et toujours selon l'approche cybernétique, comme le comportement du système inférieur se répercute sur la performance du système supérieur, celui-ci doit en conséquence utiliser son droit d'intervention pour fixer des objectifs locaux coordonnés avec ses objectifs globaux. Cette vision mène à la décomposition classique des décisions de R. Anthony du stratégique vers l'opérationnel, en passant par l'administratif, le tout selon un sens décroissant d'importance. Les décisions sont ainsi hiérarchisées, en général de façon assez linéaire, comme dans le modèle MRP qui décline sur le plan temporel une suite d'instructions données, depuis le plan industriel et commercial jusqu'à l'ordonnancement. Cette déclinaison linéaire s'accompagne de plus d'une réduction progressive de l'horizon décisionnel au fur et à mesure de la descente dans les niveaux hiérarchiques. Ces horizons sont d'ailleurs classiquement structurés, notamment par A. Marshall qui distingue bien quatre périodes distinctes, depuis la période de marché dans laquelle le montant des offres est fixe, jusqu'à la très longue période dans laquelle les techniques de production peuvent varier par mise en oeuvre d'innovations puisées dans un stock de connaissances ou d'inventions disponibles¹⁰⁷.

Pourtant, cette classification à la fois temporelle et hiérarchique, qui structure la plupart des modèles de gestion semble fortement remise en question par le déplacement que nous venons de décrire depuis l'entreprise-facteurs vers l'entreprise-compétences. En particulier, la décomposition en périodes temporelles ne correspond plus aux habitudes de travail des organisations productives flexibles et intégrées. Ainsi, et contrairement aux principes définissant la période infra-courte d'A. Marshall, une organisation en juste-à-temps n'ajuste plus l'offre par une variation des stocks de produits finis, mais par une réactivité issue de la flexibilité des moyens de production. Les innovations ne sont plus puisées dans un stock de connaissances et d'inventions disponibles, et mises en oeuvre sur longue période, mais au contraire à la fois inventées et importées selon un processus opérationnel à la fois endogène et exogène qui possède un caractère continu et permanent. Il en résulte que le modèle de décomposition en périodes temporelles ne reflète plus bien la réalité de la prise de décision au sein des nouvelles organisations productives.

¹⁰⁷ Cf. Chapitre 2, section 1, 1.1.

En d'autres termes, la sphère de valorisation des ressources et la sphère de création de ressources nouvelles se superposent et ne peuvent pas être discriminées par des considérations hiérarchiques. La capacité d'une entreprise à créer de nouvelles ressources et à se doter de nouvelles compétences dépend de l'ensemble de ses acteurs au même titre que son aptitude à bien utiliser ses ressources existantes. En particulier, l'apprentissage construit n'est plus le seul fait des échelons supérieurs, mais doit se développer auprès du flux physique dans une démarche permanente d'invention de solutions organisationnelles nouvelles face aux exigences de l'environnement. Nous voyons donc se développer des décisions dans la classe "opérationnelle non structurée" de la typologie de G. Gory et M. Scott Morton qui renvoient à une rationalité procédurale en situation d'autonomie¹⁰⁸. A nouveau, le stratégique, l'administratif et l'opérationnel se rejoignent dans une recherche de performance qui mobilise tous les niveaux de l'entreprise avec une égale importance.

Cependant, nous devons bien constater que la hiérarchie ne reste pas moins un élément incontournable, car effectivement omniprésent dans les organisations humaines. Il est donc nécessaire d'en trouver une nouvelle interprétation. Dans ce but, nous allons à nouveau faire appel à la métaphore biologique, en particulier à travers les travaux de H. Atlan, puis à travers ceux de F. Varela.

H. Atlan donne en effet une interprétation différente de ce qu'il nomme "l'organisation en niveaux hiérarchiques d'intégration"¹⁰⁹. Il considère que le statut du bruit (perturbateur ou structurant) dépend en réalité du point de vue de l'observateur et que cette différence de point de vue correspond à des niveaux différents dans une organisation hiérarchique. Notons bien que les niveaux hiérarchiques qu'il étudie ici appartiennent au domaine biologique : il s'agit de l'organe par rapport à la cellule, et de l'organisme par rapport à l'organe. Dans ce cadre, des aléas au niveau des cellules sont perturbateurs pour leur fonctionnement, mais structurant pour le niveau supérieur (l'organe qui "observe" le fonctionnement de sa cellule) si ces aléas augmentent le degré de variété, donc les performances régulatrices de ses cellules¹¹⁰. En d'autres termes, l'apprentissage des cellules en réaction aux aléas n'a de sens que s'il est rapporté à l'entité englobante de niveau hiérarchique supérieur qui les contient. L'organisation d'un système en couches hiérarchiques est donc un moyen d'acquisition par le niveau supérieur de la signification des événements qui se déroulent au niveau inférieur, et permet d'augmenter ainsi les

¹⁰⁸ Cf. Chapitre 1, section 3, 2.1.

¹⁰⁹ H. ATLAN : *Entre le cristal et la fumée - Essai sur l'organisation du vivant*, Seuil, 1979, p. 68.

¹¹⁰ *Idem*, p. 70.

performances du système global. Comme le remarque H. Atlan, ces aléas devront cependant rester dans une limite acceptable afin que le processus ne soit pas destructif pour le système.

Dans le cadre d'une organisation productive, les réactions d'un acteur individuel face à des aléas va participer à l'amélioration collective des performances de l'équipe par processus d'apprentissage. La perturbation subie par l'acteur individuel acquiert ainsi une connotation positive et structurante grâce à l'appartenance de l'acteur au niveau hiérarchique supérieur qu'est l'équipe. La démarche kanban est à nouveau une illustration de ce phénomène, car la diminution progressive du nombre d'étiquettes en circulation jusqu'à l'apparition d'une rupture de flux est localement perturbante pour la "productivité" d'un opérateur mais incite l'équipe à innover et à capitaliser collectivement l'expérience issue de la perturbation. Si l'opérateur travaillait isolément avec des objectifs de rendement et de conformité à une norme, sans participer à la dynamique de progrès d'une équipe, la perturbation aurait naturellement une signification beaucoup plus négative que constructive.

Pourtant, un observateur extérieur qui évaluerait les conséquences de la perturbation au niveau local, sans en acquérir la signification au niveau supérieur, jugerait que ses effets sont négatifs pour le système. Dans ce cas, l'observateur extérieur se trouve moins bien placé que ne le serait un observateur interne au système pour apprécier globalement les effets qu'il observe, et pour les situer correctement dans l'évolution du système. Nous voyons ainsi apparaître l'intérêt de l'*auto-évaluation*, c'est-à-dire de l'évaluation du système par lui-même, qui semble plus pertinente qu'une évaluation externe et détachée du système pour bien prendre en compte les effets structurants du bruit. En fait, le seul observateur qui puisse évaluer correctement la performance d'un sous-système semble être le système englobant de niveau supérieur tout entier. Dans ce cas, nous pouvons dire que l'organisation s'auto-évalue en évaluant elle-même les performances de ses composants selon un processus collectif. Nous devons cependant remarquer que dans les structures mécanistes¹¹¹, chaque niveau hiérarchique est affecté dans l'organigramme à un responsable qui doit évaluer les performances des membres de son service. En fait, selon cette nouvelle approche de la hiérarchie décisionnelle dans les organisations productives, ce responsable devient davantage le *représentant* de son niveau que son réel pilote. En ce sens, c'est bien le niveau qui évalue lui-même les performances de ses composants, son représentant en étant le rapporteur.

¹¹¹ Au sens de T. Burns et G. Stalker, et par opposition aux structures organiques. Cf. Chapitre 1, section 3, 1.1.

1.2 De l'autopoïèse à la méta-systémique

En développant encore plus avant l'idée d'autonomie des systèmes complexes, F. Varela propose le concept d'*autopoïèse* qui caractérise les systèmes qui produisent eux-mêmes leur propre identité : "une machine *autopoïétique* engendre et spécifie continuellement sa propre organisation. Elle accomplit ce processus incessant de remplacement de ses composants, parce qu'elle est continuellement soumise à des perturbations externes, et constamment forcée de compenser ces perturbations"¹¹². Ce concept d'autopoïèse s'appuie sur la notion d'homéostasie¹¹³, mais la dépasse par le fait que les processus de régulation sont créés et modifiés par le système lui-même. Il dépasse également la notion d'auto-régulation¹¹⁴ (ou régulation libre), que nous avons définie comme la régulation locale et spontanée d'un acteur isolé qui poursuit une finalité individuelle déconnectée des objectifs globaux désignés par le système. Il dépasse enfin la notion de régulation auto-organisatrice qui correspond bien à une sélection par le système lui-même et sur sa structure, mais seulement parmi un ensemble de possibilités prédéfinies, et sans processus créatif engendrant de nouvelles structures. L'autopoïèse au contraire implique la production de composants nouveaux, et pas seulement la production de liens entre des composants prédéfinis.

Comme H. Atlan, F. Varela remarque que le système doit cependant rester à l'intérieur d'un domaine de déformations, au delà duquel il risque de perdre l'identité qui le définit comme organisation¹¹⁵. A l'intérieur de ce domaine, les machines autopoïétiques sont alors autonomes et leurs changements sont subordonnés au maintien de leur propre organisation. D'autre part, et à l'opposé de l'approche cybernétique, les machines autopoïétiques n'ont ni entrées ni sorties. Elles sont en contact permanent avec leur environnement et développent des transformations structurales internes, comme conséquence de leur couplage informationnel avec le monde extérieur.

Afin de pouvoir utiliser plus avant dans notre démarche le concept d'autopoïèse, nous devons décider si les organisations productives peuvent effectivement être classées parmi les systèmes autopoïétiques, qui ont jusque là été associés au contexte particulier des systèmes vivants. F. Varela indique sur ce point que l'élément fondamental qui caractérise un système

¹¹² F. VARELA : *Autonomie et connaissance - Essai sur le Vivant*, op. cit., p. 45.

¹¹³ stabilisation et maintien naturel dans une situation acceptable. Cf. Chapitre 1, section 1, 2.1.

¹¹⁴ Cf. Chapitre 1, section 3, 1.2.

¹¹⁵ F. VARELA, op. cit., p. 46.

autopoïétique est sa faculté de faire produire ses propres composants par ses propres processus. Il prend à ce propos l'exemple d'une automobile, qui n'est pas une machine autopoïétique car bien que l'on puisse la décrire comme une concaténation de processus, ces processus ne produisent pas eux-mêmes les composants de l'automobile¹¹⁶. Dans le cas d'une organisation industrielle, la description en termes de concaténation de processus est déjà acquise¹¹⁷. Mais nous constatons également qu'une organisation industrielle engendre et spécifie continuellement sa propre organisation. En effet, elle va créer ses propres méthodes de travail, elle va spécifier et appliquer ses propres méthodes pour s'administrer, elle va embaucher et former elle-même de nouveaux acteurs qui mettront à leur tour en place des procédures de fonctionnement ou de contrôle, construisant ainsi elle-même les processus qui définissent son identité propre. Elle accomplit ainsi ce processus incessant de modification de ses composants qui caractérise les machines autopoïétiques, parce qu'elle est continuellement soumise à des perturbations externes, et constamment forcée de compenser ces perturbations. Nous estimons en conséquence que nous pouvons continuer dans la métaphore biologique et essayer d'interpréter le comportement des organisations productives à la lumière du comportement des machines autopoïétiques.

Le concept d'autopoïèse nous donne alors un nouveau point de vue sur les phénomènes de hiérarchisation des systèmes complexes, en particulier lorsque nous considérons le comportement d'un système issu du couplage de plusieurs machines autopoïétiques. F. Varela indique en effet que le résultat de l'association de machines autopoïétiques peut, sous certaines conditions, être considéré à son tour comme une machine autopoïétique englobante, et de niveau hiérarchique supérieur. L'association entre systèmes d'un même niveau permet ainsi l'émergence d'un système de plus haut niveau, et de complexité supérieure. Ce système de niveau supérieur hérite naturellement des caractéristiques des machines autopoïétiques qui le composent, selon un processus de construction du bas vers le haut. Pourtant, une fois constitué, le système de niveau supérieur oriente à son tour le comportement de ses sous-systèmes, de sorte que dans l'association, les machines autopoïétiques qui composent le système "sont subordonnées, pour la réalisation de leur autopoïèse, aux contraintes relatives à l'autopoïèse de l'unité autopoïétique de niveau supérieur"¹¹⁸. Nous retrouvons donc ici les relations réciproques habituelles entre un système et ses sous-systèmes, ainsi que les interactions entre le tout et les parties. Mais de

¹¹⁶ *Idem*.

¹¹⁷ Cf. par exemple l'approche de J. L. Lemoigne qui propose de comprendre le fonctionnement des systèmes complexes selon une approche conjonctive qui étudie *l'articulation entre processus*. Cf. Chapitre 1, section 2, 2.1.

¹¹⁸ *Idem*, p. 83.

plus, cette association est pour F. Varela un facteur de stabilité qui permet à l'organisation de maintenir son identité, c'est-à-dire de survivre, "de sorte qu'il existe une pression sélective constante, favorable à la formation d'unités autopoïétiques de niveau supérieur"¹¹⁹. En transposant aux organisations productives cet enseignement du domaine biologique, nous pouvons alors supposer qu'une organisation se structure en niveaux hiérarchiques emboîtés (homme, équipe, service, division, entreprise) parce que cela lui permet d'acquérir à la fois une stabilité suffisante et les meilleures facultés d'adaptation à son environnement. En final, la notion de *hiérarchie* renvoie donc pour nous à un emboîtement en niveaux successifs d'intégration de machines autopoïétiques, et l'omniprésence de la hiérarchie dans les organisations humaines peut alors être interprétée comme une réponse structurelle vis-à-vis de l'environnement.

Nous pensons que cette nouvelle interprétation de la hiérarchie décisionnelle doit modifier les représentations que nous nous faisons des organisations productives. En effet, à la place des modèles hiérarchiques linéaires dans lesquels les décisions sont déclinées de façon temporelle comme suites d'instructions depuis le niveau stratégique jusqu'au niveau opérationnel, nous préférons à présent nous diriger vers des modèles intégrant l'autonomie des acteurs et représentant la consolidation progressive des différents niveaux en niveaux supérieurs englobants. En d'autres termes, et au lieu de représenter une organisation par une pyramide hiérarchique traditionnelle, nous préférons inverser la pyramide et créer un modèle qui se construise par l'emboîtement successif des sous-systèmes le constituant, niveau par niveau.

Cette nouvelle approche de la représentation des organisations productives nous renvoie au concept plus général de *méta-systémique*. J. P. van Gigch définit un méta-système comme "un système couvrant un système de logique inférieure, et ainsi capable de formuler des propositions, de débattre de critères, ou d'exercer des régulations pour des systèmes qui sont eux-mêmes logiquement incapables de telles formulations et de tels débats, ou de telles régulations"¹²⁰. Un méta-système correspond donc bien à un niveau d'organisation supérieur qui englobe un niveau propre et lui donne son sens, selon la définition que nous avons retenue de la notion de hiérarchie. Le concept de méta-systémique va ainsi nous donner un cadre théorique pour représenter une organisation non plus par la déclinaison hiérarchique linéaire traditionnelle, mais par un emboîtement

¹¹⁹ *Idem*.

¹²⁰ J. P. VAN GIGCH : *Decision making about decision making : Metamodels & meta systems*, Abacus Press, 1987, p. 3.

successif dans lequel le niveau propre apporte l'existence du niveau supérieur, tandis que le niveau supérieur lui donne son sens.

Notons que le concept de *méta-niveau*, ou niveau englobant supérieur, était déjà sous-jacent en plusieurs passages de notre démarche. En effet nous avons indiqué par exemple que les actions de premier niveau liées à la transformation de la matière (commande-contrôle-interprétation) tendaient à devenir dans le cadre du nouveau contexte industriel entièrement prises en charge par la machine, tandis que l'homme intervenait sur une boucle de second niveau par des actions de contrôle et de maintenance¹²¹. Ce déplacement nous amène bien à un méta-niveau puisque l'homme agit non plus sur la matière mais sur le chargement d'un programme d'usinage qui contrôle à son tour l'action de la machine-outil sur la matière, et puisqu'il ne mesure plus directement les dimensions du produit mais surveille le bon fonctionnement de la procédure de contrôle et de correction automatique de dérive. Ce changement de niveau est également apparu dans le domaine de la prise de décision, lorsque nous nous sommes déplacés sous les contraintes liées à l'instabilité de l'environnement depuis l'aptitude à résoudre un problème posé vers l'aptitude à poser un problème nouveau, et depuis une interrogation sur la décision vers une interrogation sur la façon de prendre la décision. C'est pourquoi nous allons à présent utiliser explicitement l'approche méta-systémique pour avancer dans la formalisation de notre modélisation des organisations productives.

Remarquons enfin que, bien que nous privilégions ici le point de vue de l'autonomie pour expliquer les phénomènes de hiérarchie, nous n'en négligeons pas pour autant l'approche cybernétique pour comprendre le fonctionnement d'un système complexe. Au contraire, nous retrouvons ici encore la dualité entre le point de vue de l'autonomie et celui de la commande. En effet, F. Varela indique que lorsqu'une série de perturbations identiques se répètent, la machine autopoïétique peut, à son tour, répéter des séries de transformations internes afin de les compenser. Un observateur extérieur peut alors interpréter les événements perturbants comme des entrées, et les transformations opérées par les machines pour compenser ces perturbations comme des sorties. Il considérera alors ces réponses comme celles d'une machine allopoïétique, dans le cadre du concept d'allonomie ou de commande. C'est pourquoi "les descriptions autopoïétiques et allopoïétiques d'un système forment un couple complémentaire dont l'usage dépend de l'observateur"¹²². En d'autres termes, l'autonomie d'un système, qui permet la conservation de son identité, appartient pour F. Varela à un domaine distinct de celui de son fonctionnement. D'un côté, l'autonomie

¹²¹ Cf. Chapitre 3, section 1, 2.2.

¹²² F. VARELA : *Autonomie et connaissance - Essai sur le Vivant*, op. cit., p. 47.

renvoie au concept d'autopoièse et à une auto-évaluation de la performance du système par lui-même. De l'autre, le fonctionnement est généralement décrit par un observateur extérieur, en terme de finalités qui lui permettent d'expliquer le sens et d'évaluer les effets des transformations qu'il observe. Et ce type d'explication en terme de finalités s'exprime principalement par un langage appartenant au point de vue de la commande. Rappelons à ce propos que J. L. Lemoigne définit la systémique comme l'association entre la procédure structuraliste qui est une conjonction des concepts de fonctionnement et de transformation, et la procédure cybernétique qui est une conjonction des concepts d'environnement actif et de projet¹²³. Cela l'amène à tenir "pour inséparable le fonctionnement et la transformation d'un phénomène, des environnements actifs dans lesquels il s'exerce et des projets par rapport auxquels il est identifiable"¹²⁴. F. Varela arrive en réalité à la synthèse de ces quatre mêmes concepts lorsqu'il associe le point de vue de l'autonomie (transformation dans un environnement actif stimulant) et celui de la commande (fonctionnement tiré par un projet). Cela confirme la nécessité de faire apparaître simultanément le point de vue de l'autonomie et celui de la commande dans les modèles de représentation systémique des organisations productives, et d'associer dans une même vision l'approche méta-système et l'utilisation de modules de contrôle. Mais cela montre également la nécessité de ne pas se limiter à une description de la structure statique d'une organisation, et de bien représenter les projets et les intentions du système. J. L. Lemoigne établit d'ailleurs une correspondance forte entre les projets perçus par le modélisateur et la représentation d'un système complexe en niveaux d'intégration : "c'est en partant de ces projets identifiés par le système de modélisation que la modélisation systémique va proposer d'amorcer le processus de conception du modèle. Aux familles de projets, on associera des hypothèses de sous-systèmes que l'on cherchera à articuler en se référant au projet global du système de modélisation"¹²⁵. L'approche de J. L. Lemoigne, qui mène à la "représentation d'un système complexe par une organisation en niveaux fonctionnels stables successifs"¹²⁶ rejoint à nouveau ici l'interprétation par F. Varela de la hiérarchie comme réponse structurelle stabilisatrice vis-à-vis des perturbations externes. C'est pourquoi nous allons préciser la nature de ces projets finalisés qui se déroulent en permanence à l'intérieur des organisations productives.

¹²³ Cf. Chapitre 1, section 2, 2.1.

¹²⁴ J. L. LEMOIGNE : *La modélisation des systèmes complexes*, Dunod, 1990, p. 40.

¹²⁵ *Idem*, p. 54.

¹²⁶ *Ibid.*

2. Les activités et les processus, bases de l'organisation en niveaux d'intégration

2.1 La gestion par activités

La représentation économique d'une entreprise à travers ses activités est une alternative aux modèles centrés sur les facteurs, développée en particulier par M. Porter¹²⁷. Partant de l'idée selon laquelle l'avantage concurrentiel d'une firme provient de deux sources principales, la rationalisation des coûts et la différenciation des produits-services, M. Porter estime que l'analyse de la performance d'une firme doit passer par l'étude des activités concrètes qui alimentent ces deux sources. Cela le mène à proposer en substitution à l'analyse habituelle en terme de coûts des facteurs, une approche fondée sur la notion de "chaîne de valeurs", qui permet la décomposition de l'entreprise en activités de base concourant à la réalisation d'un ajout de valeur. Notons que la valeur est ici définie comme "la somme que les clients sont prêts à payer ce qu'une firme leur offre"¹²⁸. Elle se mesure "par les recettes totales qui reflètent le prix qu'une firme peut obtenir pour son produit et le nombre d'unités qu'elle peut vendre"¹²⁹. Une chaîne de valeur est donc l'enchaînement d'activités qui permet d'aboutir à une quantité de produits valorisables sur le marché.

Dans la chaîne de valeur d'une entreprise, M. Porter repère neuf catégories génériques d'activités, réparties en cinq activités principales et quatre activités de soutien. Les activités principales "sont celles qu'impliquent la création matérielle et la vente du produit, son transport jusqu'au client et le service après-vente"¹³⁰. Ce sont : la logistique interne¹³¹, la production, la logistique externe, la commercialisation et la vente, les services¹³². Les activités de soutien viennent à l'appui des activités principales. Ce sont : les approvisionnements, le développement technologique¹³³, la gestion des ressources humaines, l'infrastructure globale de la firme¹³⁴. Le découpage de l'entreprise en activités

¹²⁷ M. PORTER : *L'avantage concurrentiel*, InterEditions, 1986.

¹²⁸ *Idem*, p. 54.

¹²⁹ *Ibid.*

¹³⁰ *Ibid.*, p. 55.

¹³¹ réception, stockage, manutention, ...

¹³² installation chez le client, réparation, formation, fourniture de pièces de rechange, ...

¹³³ ensemble des efforts technologiques visant à améliorer le produit et le processus de production.

¹³⁴ direction générale, finance, comptabilité, service juridique, ...

selon les catégories précédentes doit être guidé par un objectif de représentation des sources d'avantage concurrentiel de la firme. Ainsi, une activité ne sera détaillée que dans la mesure où elle représente un fort potentiel de différenciation compétitive, ou bien si elle participe fortement au coût des produits. Cette représentation liée au développement stratégique des avantages concurrentiels de la firme possède intrinsèquement une dimension à la fois systémique et dynamique. Elle est systémique dans la mesure où l'approche conduit à mettre en évidence les liaisons dans l'entreprise : "la chaîne de valeur n'est pas une juxtaposition d'activités, c'est un système d'activités interdépendantes, avec des liaisons qui peuvent être sources d'importants avantages compétitifs ..." ¹³⁵. Elle est dynamique parce qu'elle mène à considérer que chaque activité de l'entreprise doit contribuer à créer de la valeur, et parce qu'elle amorce ainsi des démarches d'amélioration permanente guidées par la stratégie de la firme selon la théorie des avantages concurrentiels.

Analysant plus précisément la notion d'activité, P. Lorino la définit par tout ce qui peut être décrit par des verbes dans la vie de l'entreprise ¹³⁶. Une activité est pour lui un ensemble de tâches élémentaires réalisées par un individu ou un groupe, faisant appel à un savoir spécifique et fournissant un extrant (une pièce fraisée, la qualification d'un fournisseur, un budget, ...), à partir d'intrants (travail, machines, informations, ...) ¹³⁷.

Cet ensemble de tâches doit de plus être orienté vers un client interne ou externe, et être homogène du point de vue des coûts et des performances pour pouvoir faire l'objet de mesures globales pertinentes. La modélisation d'entreprise à partir du concept d'activités est d'ailleurs à la base du programme Cost Management System développé par le CAM-I ¹³⁸. Cette approche propose de modéliser les activités économiquement significantes de l'entreprise, au sens précédent de M. Porter, par une décomposition en fonctions (acheter, usiner, assembler, inspecter, planifier, ...) ¹³⁹, puis de repérer les activités élémentaires au sein de ces fonctions, et d'en identifier les coûts. La comptabilité par activités du programme CMS, comme alternative à l'organisation en sections homogènes, est une réponse aux

¹³⁵ P. LORINO : "Le projet Cost Management System du CAM-I et ses fondements" in *Gestion Industrielle et Mesure Economique - Ecosip*, Economica, 1990, p. 159.

¹³⁶ P. LORINO : *Le contrôle de gestion stratégique*, Dunod, 1991, p 39.

¹³⁷ *Idem*, p. 40.

¹³⁸ Le Computer Aided Manufacturing International est une association qui étudie les technologies de production (automatisation) et développe des programmes de recherches sur le calcul des coûts en environnement de nouvelles technologies.

¹³⁹ P. LORINO : "Le projet Cost Management System du CAM-I et ses fondements", *op. cit.*, p. 160.

limites des outils traditionnels de gestion dans le contexte actuel¹⁴⁰. En effet, au lieu de rapporter les coûts à des unités d'oeuvre arbitraires et d'autant plus dénuées de liens avec les processus réels que la part des charges indirectes est importante, l'approche CMS consiste à considérer que les produits ne consomment pas des coûts mais des activités, et que ce sont ces activités qui consomment les coûts. Le schéma suivant indique, par opposition au modèle taylorien-fordien¹⁴¹, la construction des coûts selon le modèle CMS¹⁴² :

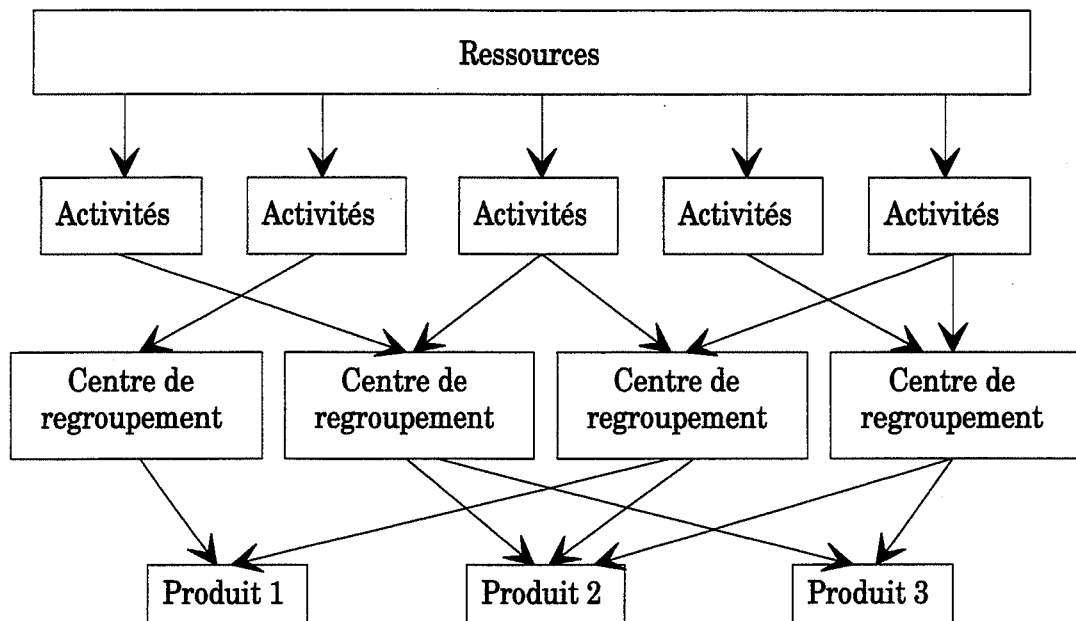


Schéma 18 : Construction des coûts dans un modèle de gestion par activités

Dans ce modèle, les centres de regroupement ont pour objet de rassembler les activités consommées selon un enchaînement économique de type cause-effet lié aux objectifs stratégiques de la firme. A titre d'exemple, l'activité de recherche des fournisseurs pourra être ramenée au nombre de composants non standard introduits par le bureau d'études dans un nouveau produit¹⁴³. Ce système de répartition se différencie du concept d'unité d'oeuvre dans le fait que les clefs de regroupement sont essentiellement choisies de

¹⁴⁰ Cf. Chapitre 3, section 3, 1.1

¹⁴¹ Cf. Chapitre 2, section 3, 1.1

¹⁴² D'après P. MEVELLEC : "Modèles d'entreprises et systèmes de calcul de coûts", in *Cohérence, pertinence et évaluation*, ECOSIP, Economica, 1995, à paraître, p. 7 de l'article.

¹⁴³ P. LORINO : "Le projet Cost Management System du CAM-I et ses fondements", *op. cit.*, p. 162.

façon à localiser l'origine du coût (dans cet exemple, le service études peut être à l'origine d'une part importante des coûts des achats). Comme l'indique P. Lorino, le coût n'est plus une mesure objective mais un *vecteur d'influence* destiné à orienter les démarches de progrès dans l'entreprise¹⁴⁴. En particulier, les coûts des activités indirectes au sens de la comptabilité traditionnelle deviennent contrôlables parce que ramenés à leurs origines au même titre que les coûts directs. Au delà d'un simple instrument de mesure, ce modèle devient ainsi une méthode de gestion identifiée sous le nom de gestion par activités¹⁴⁵.

P. Zarifian remarque cependant que la gestion par activités peut apparaître comme un remodelage de la comptabilité analytique, qui conserve plusieurs de ses défauts, et en particulier¹⁴⁶ : le caractère analytique d'une démarche qui consiste finalement à décomposer les coûts indirects par activités afin de les détailler à un niveau de finesse supérieur, le caractère externe du contrôle, la réduction de l'activité à une formule de calcul, et l'accent mis de manière unilatérale sur les coûts par rapport à la formation de valeur. A l'extrême, toute activité principale ou de soutien au sens de M. Porter pourrait d'ailleurs être décrite de façon tout à fait objectivée, comme suite d'opérations, à partir d'un outil analytique du type de la M.T.M.¹⁴⁷, déterminant les mouvements en fonction de leur but et accordant à chaque geste un temps déterminé. Toutefois, P. Zarifian indique que la gestion par activités amène bien des progrès significatifs, en particulier parce qu'elle permet d'élargir le cadre de l'analyse, d'envisager des actions plus larges (dans l'exemple précédent, une action en bureau d'études est nécessaire pour diminuer les coûts d'achats) et d'offrir ainsi une plus grande latitude à l'autonomie des acteurs¹⁴⁸. Mais il précise que la gestion par activités ne pourra dépasser la simple comptabilité analytique améliorée et étendue, et devenir ainsi une nouvelle approche pour la gestion des organisations productives, que si elle respecte les principes suivants¹⁴⁹ :

- donner aux acteurs les moyens de définir et de contrôler leurs propres actions,

¹⁴⁴ P. LORINO : *Le contrôle de gestion stratégique*, Dunod, 1991, p. 78.

¹⁴⁵ ABC (Activity Based Costing) ou ABM (Activity Based Management), dans sa version originelle anglo-saxonne.

¹⁴⁶ P. ZARIFIAN : "Gestion par activités, gestion par processus, gestion par projets : quelles différences ? Quels rapports ?", article interne du Laboratoire Techniques, Territoires et Sociétés, février 1994, p. 11.

¹⁴⁷ Cf. Chapitre 1, section 1, 1.2.

¹⁴⁸ P. ZARIFIAN : "Gestion par activités, gestion par processus, gestion par projets : quelles différences ? Quels rapports ?", *op. cit.*, p. 11.

¹⁴⁹ Commissariat Général du Plan : *La performance globale : outils et évaluation*, *op. cit.*, p. 17.

- exprimer localement l'orientation stratégique globale,
- associer l'approche coût et l'approche valeur,
- définir des leviers d'action associés aux critères de performance économique,
- lier la qualité du pilotage de gestion à la mobilisation des compétences professionnelles.

Nous trouvons ici des éléments de réponse aux besoins d'évolution des systèmes de production que nous avons exprimés, notamment sur le nécessaire passage d'un outil de mesure à des représentations collectives et sur la transition depuis le traitement de l'information vers des processus cognitifs. En particulier, le premier principe provient de l'idée selon laquelle "la véritable efficience vient de l'intelligence individuelle et collective que les acteurs sont capables de développer dans la situation événementielle dans laquelle ils sont placés"¹⁵⁰. Il renvoie ainsi à une conception de la performance comme capacité à créer de nouvelles ressources en développant une démarche permanente d'invention de solutions organisationnelles nouvelles face aux exigences de l'environnement.

De plus, le concept de gestion par activités permet de lier le local et le global parce qu'il intègre dans des indicateurs locaux les différentes dimensions des stratégies de différenciation (délai, qualité, variété, ...) et permet ainsi une approche multi-critères accompagnée d'un retour logique aux processus réels sur lesquels les acteurs peuvent effectivement agir dans le cadre d'une démarche d'amélioration, alors qu'un coût complet était une agrégation peu significative pour orienter l'action. P. Zarifian indique que cette approche constitue "une modélisation simple permettant de simuler la relation performance / coût, modélisation utilisable par les acteurs eux-mêmes et qui permettra d'orienter leurs actions"¹⁵¹. La gestion par activité est donc un moyen de mettre en acte un modèle de valorisation économique qui guide les comportements en insérant dans l'organisation industrielle des logiques de valorisation (coût et valeur) non données directement par l'environnement.

Enfin, le dernier principe nous renvoie encore davantage à l'entreprise-compétences qui intègre les composantes hors-prix dans une recherche dynamique de performance fondée sur l'innovation et sur la créativité, et qui développe la spécificité de ses facteurs de production par un apprentissage collectif et une mobilisation permanente. La gestion par activités devient alors un mode de coordination au sein d'une division cognitive du travail

¹⁵⁰ *idem*.

¹⁵¹ P. ZARIFIAN : "Gestion par activités, gestion par processus, gestion par projets : quelles différences ? Quels rapports ?" *op. cit.*, p. 12.

pour garantir la compatibilité des hommes impliqués dans la production du bien final (capacité de se comprendre et d'apprendre ensemble)¹⁵².

Le pilotage par activités apparaît donc comme une réponse possible aux problèmes émergents des organisations productives. Pourtant, et comme le précise P. Zarifian¹⁵³, cette démarche reste prisonnière d'une approche trop analytique, et le concept d'activité ne rend pas assez largement compte des phénomènes transversaux qui se déroulent dans une organisation productive. D'autre part, elle est conservatrice des cadres organisationnels préexistants, alors qu'une démarche d'amélioration pleinement conduite doit également remettre en cause les structures de l'organisation. Ces deux critiques sont prises en compte dans l'approche de la gestion par processus.

2.2 La gestion par processus opérationnels et par processus stratégiques

La notion de processus correspond à l'enchaînement de plusieurs activités regroupées par des critères de complémentarité selon deux approches possibles¹⁵⁴ :

- les activités sont physiquement reliées en un même processus par le flux de produits ou d'informations qui transitent entre elles (c'est l'exemple d'un processus de transformation de matières premières en produits finis, ou d'une chaîne de traitement de l'information) ;
- les activités sont logiquement regroupées en un même processus parce que leurs actions communes sont orientées vers le même objectif (c'est l'exemple d'un processus de production de la qualité).

Cette distinction entre processus "flux" et processus "objectif" doit cependant être relativisée par le fait qu'un flux de matière ou un flux d'information est lui-même orienté selon un objectif de production de produit fini vendable ou de production d'information utilisable. Le regroupement physique du processus "flux" correspond donc également à un

¹⁵² Cf. P. MOATI et E. MOUHOUD : *Information et organisation de la production : vers une division cognitive du travail*, op. cit., p. 16.

¹⁵³ P. ZARIFIAN : "Gestion par activités, gestion par processus, gestion par projets : quelles différences ? Quels rapports ?", op. cit., p. 14.

¹⁵⁴ *Idem*, p. 16.

regroupement téléologique de type "objectif". Une seconde distinction établie par P. Zarifian entre processus opérationnel et processus stratégique nous paraît plus intéressante.

Un processus opérationnel, représenté par le schéma 19 ¹⁵⁵, est "un processus répété dans l'entreprise de manière récurrente. il se définit comme une coopération d'activités distinctes pour la réalisation d'un objectif global, orienté client final, qui leur est commun"¹⁵⁶. P. Zarifian associe à tout processus opérationnel :

- une performance formalisant l'objectif global (niveau de qualité, délai de livraison, ...) ¹⁵⁷,
- une organisation qui matérialise et structure transversalement et dans la durée l'interdépendance des activités dans ce processus,
- une co-responsabilité des acteurs dans cette organisation et par rapport à la performance globale, tout en maintenant une responsabilité locale de chaque groupe d'acteurs au niveau de son activité propre.

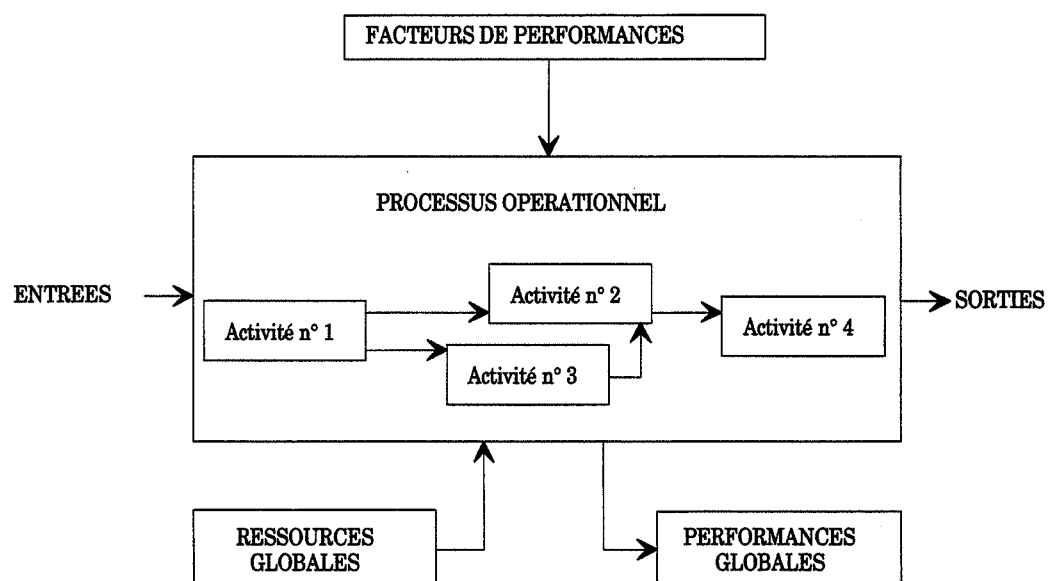


Schéma 19 : Représentation d'un processus opérationnel

¹⁵⁵ D'après P. ZARIFIAN : "Gestion par activités, gestion par processus, gestion par projets : quelles différences ? Quels rapports ?", *op. cit.*, p. 18.

¹⁵⁶ *Ibid.*, p. 17.

¹⁵⁷ Nous ajoutons que cette performance est généralement multi-critère.

Les entrées représentent ce qui est traité et transformé dans le processus, et peuvent être tangibles (matières premières, factures, commandes) ou intangibles (décision de lancement de nouveau produit, décision d'investissement). Les sorties matérialisent les résultats du processus. Entre les deux, le processus opérationnel se décline en activités et en échanges entre ces activités. Les ressources globales consommées par le processus opérationnel sont l'agrégation¹⁵⁸ des ressources locales employées au niveau de chaque activité. Elle permettent de parvenir à des performances globales, déclinables en performances locales pour chaque activité, mais considérées in fine comme critères prioritaires de la co-responsabilité entre acteurs, devant les performances locales. Notons enfin que P. Zarifian fait également intervenir des règles et des procédures, non représentées sur le schéma, pour stabiliser le processus opérationnel, et "réguler de la manière la plus efficace possible, le flux d'événements sans "tuer" la dynamique propre de ces événements"¹⁵⁹.

Bien que ce modèle mérite à notre avis d'être précisé sur certains points, et en particulier sur le dosage entre règles et procédures d'une part, et besoin de créativité d'autre part, il possède le mérite de bien représenter la position respective des activités et des processus, ainsi que leur complémentarité. P. Zarifian précise d'ailleurs bien que "la gestion par processus ne se substitue pas à la gestion par activités", mais que "la gestion de chacune des activités est à l'évidence modifiée par son insertion clairement affichée dans un ou plusieurs processus"¹⁶⁰. Cette position relative possède selon nous un caractère intrinsèquement méta-systémique, et renvoie bien à la définition que nous avons finalement retenue de la hiérarchie comme niveau d'organisation supérieur qui englobe un niveau propre et lui donne son sens¹⁶¹. Un processus opérationnel apparaît alors comme un système couvrant des activités, qui se présentent comme des sous-systèmes de logique inférieure apportant l'existence du processus, tandis que le processus apporte un sens à l'ensemble des activités.

¹⁵⁸ L'agrégation, c'est-à-dire, selon P. Zarifian, non pas la simple addition de ces ressources locales mais "l'utilisation rationnelle des ressources qui sont à la fois localement nécessaires à chaque activité et utiles au processus".

¹⁵⁹ *idem*, p. 19.

¹⁶⁰ *Idem*, p. 20.

¹⁶¹ Cf. *supra.*, p. 216.

Au niveau comptable, le modèle de gestion par processus est représentable par le schéma suivant qui rappelle le schéma du modèle CMS de gestion par activités¹⁶² :

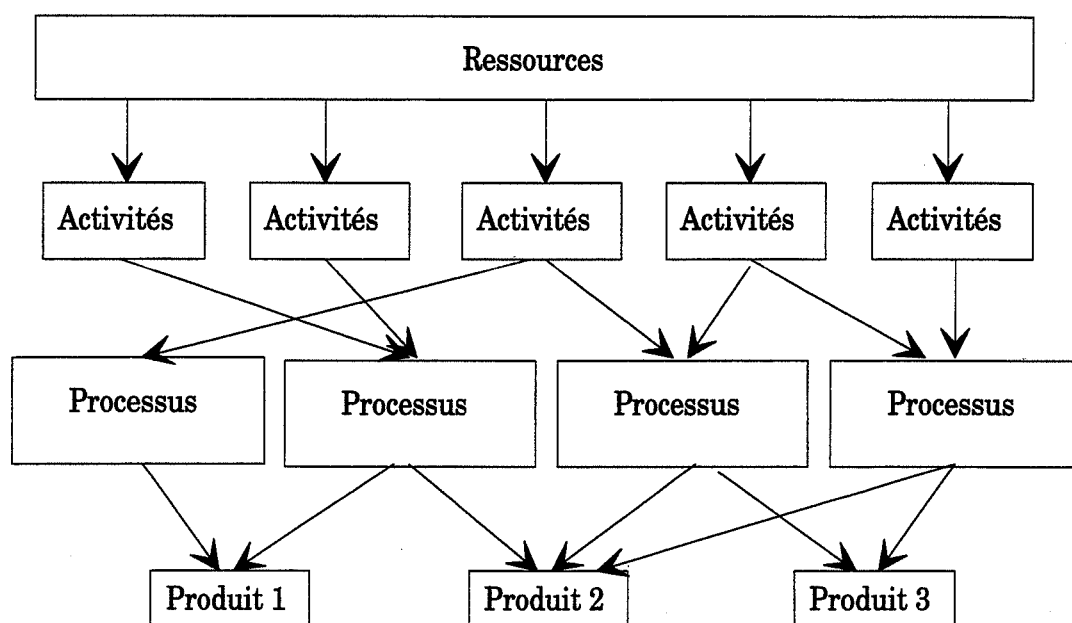


Schéma 20 : Construction des coûts dans un modèle de gestion par processus

Les centres de regroupement du modèle CMS, qui avaient pour objet de rassembler les activités consommées selon des attributs statiques (nombre de composants non standard par exemple), sont remplacés ici par des processus transversaux dynamiques qui regroupent des activités dispersées au sein des différentes fonctions, comme le lancement d'un produit nouveau ou la mise en place d'une ligne de production. Ces processus sont à la fois des lieux de regroupement d'activités qui consomment des coûts, et des lieux d'élaboration de la valeur au sein de l'organisation. Leur importance nouvelle est une conséquence du contexte d'instabilité, car "face aux turbulences de l'environnement ce sont eux qui vont réagir pour maintenir la capacité à produire de la valeur au sein de l'entreprise"¹⁶³. La réorganisation fréquente des activités devient une réponse aux sollicitations de l'environnement, et le concept de processus opérationnel permet ainsi de dépasser la notion d'activité qui reste conservatrice des cadres organisationnels pré-existants. Pourtant, les processus

¹⁶² D'après P. MEVELLEC : "Modèles d'entreprises et systèmes de calcul de coûts", *op. cit.*, p. 11 de l'article.

¹⁶³ *Idem.*

opérationnels eux-mêmes doivent également être remis en question dans les démarches d'amélioration permanente, et P. Zarifian introduit pour cette raison la notion de processus stratégique.

Un processus stratégique "répond à un objectif de transformation forte d'un ou plusieurs processus opérationnels, dans un but stratégique, donc dans une visée de modifications des conditions de base de production de valeur pour le client"¹⁶⁴. Contrairement aux processus opérationnels, les processus stratégiques n'ont pas un caractère permanent, et s'identifient à des projets ayant pour objet les processus opérationnels qu'ils transforment. Les entrées des processus stratégiques sont donc des processus opérationnels existants, et les sorties sont des processus opérationnels remis en question et transformés. Ce processus consomme des ressources, et obtient des performances qui correspondent à la fois à l'amélioration économique des processus opérationnels traités, et au progrès social lié à l'implication dans une démarche de projet de l'ensemble des acteurs mobilisés autour d'enjeux stratégiques¹⁶⁵ :

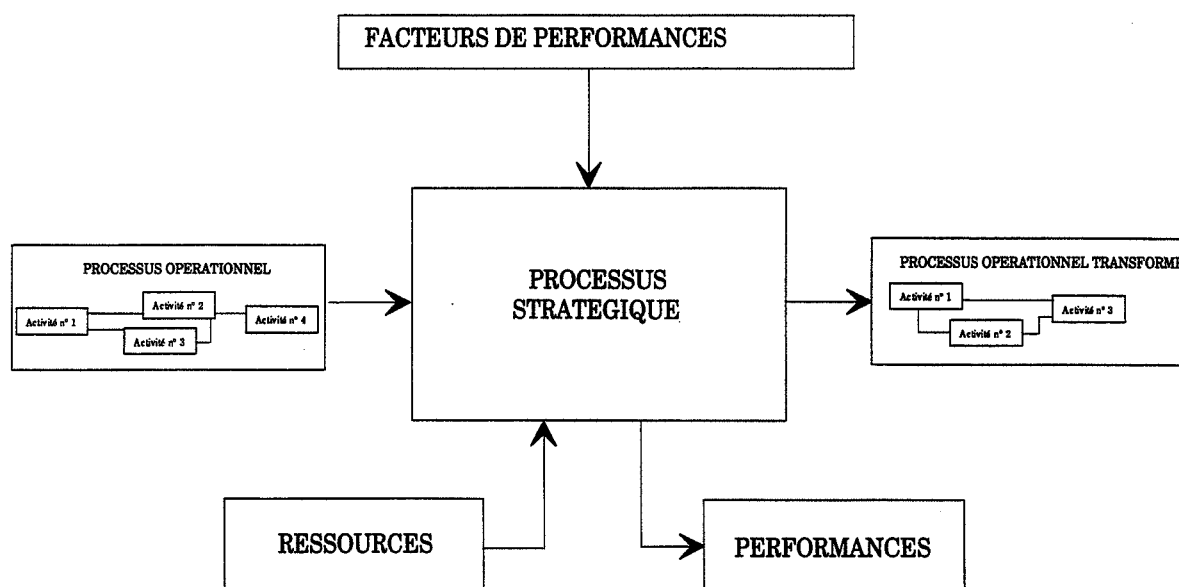


Schéma 21 : Représentation d'un processus stratégique

¹⁶⁴ P. ZARIFIAN : "Gestion par activités, gestion par processus, gestion par projets : quelles différences ? Quels rapports ?", *op. cit.*, p. 21.

¹⁶⁵ *Idem*, p. 23.

Notons à ce propos que cette approche qui consiste à aborder les organisations comme systèmes de processus, et non comme système cybernétique classique, est également à la base du concept de réingénierie¹⁶⁶ qui revient à redéfinir l'organisation d'une entreprise en identifiant puis en reconcevant ses processus principaux.

Nous pensons à nouveau que le processus stratégique est de méta-niveau par rapport au processus organisationnel, qui s'y insère et lui donne une existence tandis que le processus stratégique d'évolution dans le temps donne de la signification au processus opérationnel. Nous obtenons donc à présent un emboîtement en trois niveaux méta-systémiques (activité, processus opérationnel, processus stratégique) qui correspond bien à la définition que nous avons retenue de la hiérarchie, et que nous utiliserons par la suite comme structure de base pour la représentation des organisations productives.

¹⁶⁶ Cf. par exemple M. HAMMER et J. CHAMPY : *Le reengineering*, Dunod, 1993. Le terme "reengineering" y est traduit par "reconfiguration majeure de l'entreprise" (p. 41) et y est défini comme "une remise en cause fondamentale et une redéfinition radicale des processus opérationnels pour obtenir des gains spectaculaires dans les performances critiques que constituent aujourd'hui les coûts, la qualité, le service et la rapidité" (p. 42).

Nous avons défini dans ce chapitre les nouveaux concepts qui permettent de représenter une organisation productive et de développer un calcul économique organisationnel dans le cadre d'une théorie non standard. Nous avons montré en particulier comment le processus d'évaluation économique acquérait sa dimension dynamique, comment le statut de l'information évoluait vers le domaine cognitif, et comment l'organisation se structurait en méta-niveaux d'intégration finalisés par ses projets. Comme alternative à l'entreprise facteur, liée aux fonctions, à l'optimisation et à la hiérarchie linéaire, nous proposerons donc de modéliser une entreprise-compétences, associée aux processus, à la construction de solutions satisfaisantes par des démarches d'amélioration et d'innovation, et à l'approche méta-systémique :

ENTREPRISE-FACTEURS	ENTREPRISE-COMPETENCES
Fonctions	Processus
Optimisation	Satisfaction, amélioration, innovation
Traitement d'informations	Processus cognitif
Allonomie	Autonomie
Information, instruction donnée	Connaissance, apprentissage construit
Rationalité substantive	Rationalité procédurale
Bruit perturbateur	Bruit structurant
Information parfaite	Information limitée
Décision programmée, action, routine	Décision structurée et non structurée, critères multiples

Tableau 7 : De l'entreprise-facteurs à l'entreprise-compétences

Nous pouvons à présent construire un langage de modélisation destiné à représenter l'entreprise-compétences et destiné à supporter une forme organisationnelle de calcul économique.

CHAPITRE 5 : UNE MODELISATION META-SYSTEMIQUE ET MULTI-AGENTS DES ORGANISATIONS PRODUCTIVES

Nous allons proposer dans ce chapitre un formalisme de représentation des organisations productives nouveau et cohérent avec les évolutions constatées dans le nouveau contexte industriel. Dans la première section, nous préciserons le rôle que nous souhaitons attribuer à un modèle de représentation d'organisation productive, et les critères de validité qui en découlent. Nous pourrions alors détailler les caractéristiques essentielles nécessaires pour un tel modèle de représentation, et cela nous donnera un cadre d'analyse pour étudier les différents modèles généraux existants. Nous passerons ces modèles en revue, en nous attachant à montrer leurs limites par rapport à nos intentions modélisatrices. Nous exposerons ensuite plus précisément le formalisme de l'analyse modulaire des systèmes de J. Mélése qui nous est apparu comme le langage de modélisation le plus proche de nos besoins, et dont nous nous inspirerons par la suite.

Dans la seconde section, nous définirons les outils de modélisation nécessaires pour respecter les contraintes liées au rôle que nous attribuons au modèle. Pour cela, nous ferons appel d'une part au concept de méta-systémique défini au chapitre précédent, et qui nous permettra de structurer le modèle en niveaux d'intégration, et d'autre part au concept de système multi-agents issu des recherches en intelligence artificielle distribuée, et qui nous permettra de représenter une population d'agents en situation d'autonomie partielle.

Dans la troisième section, nous présenterons un formalisme nouveau de description des organisations productives. Il sera fondé sur les outils que nous aurons décrits précédemment, et sur les concepts que nous avons identifiés au cours de notre démarche comme pertinents pour rendre compte du mouvement des entreprises industrielles vers la flexibilité et vers l'intégration, en réponse au nouveau contexte économique.

SECTION 1 : LA MODELISATION EN PRODUCTION

1. La modélisation

La modélisation est définie par J. L. Lemoigne comme "l'action d'élaboration et de construction intentionnelle, par composition de symboles, de modèles susceptibles de rendre intelligible un phénomène perçu complexe, et d'amplifier le raisonnement de l'acteur projetant une intention délibérée au sein du phénomène (...)"¹. Il différencie à ce propos la modélisation analytique destinée à la résolution locale de problèmes compliqués mais limités, de la modélisation systémique, qui a pour objectif l'intelligibilité globale des phénomènes perçus complexes. D'un côté, la modélisation analytique renvoie à une description de la structure et s'intéresse aux éléments composant le système. De l'autre côté, la modélisation systémique renvoie à une observation des fonctions et des transformations assurées par le système, et s'intéresse aux actions qui s'y déroulent². C'est pourquoi l'observateur qui réalise une modélisation systémique projette une intention dans le système qu'il décrit fonctionnellement. En d'autres termes, il a besoin de se référer à des objectifs apparemment visés par le système qu'il étudie pour pouvoir le décrire sous la forme de fonctions à assurer. Ceci rejoint d'ailleurs la définition élaborée par F. Varela du processus de description allopoïétique, au cours duquel l'observateur attribue des finalités à un système pour expliquer le sens et évaluer les effets des transformations qu'il observe³.

Pour nous, une synthèse sera probablement nécessaire entre description structurelle et description fonctionnelle, de façon à construire un modèle qui associe à la fois des outils analytiques opérationnels et des méthodes systémiques de compréhension globale. Mais nous devons surtout bien prendre en considération le fait que la modélisation est téléologique, et que la construction d'un modèle est orientée par les intentions que l'observateur prête au système qu'il modélise. Comme l'indique J. L. Lemoigne à ce sujet, "l'action de modéliser n'est pas neutre et la représentation du modèle n'est pas disjoignable de l'action du modélisateur"⁴. C'est pourquoi nous allons préciser le rôle que nous souhaitons attribuer à un modèle de représentation d'organisation productive, ainsi que les

¹ J. L. LEMOIGNE : *La modélisation des systèmes complexes*, Dunod, 1990, p. 5.

² *Idem*, p. 46.

³ Cf. Chapitre 4, section 3, 1.2.

⁴ J. L. LEMOIGNE : *La modélisation des systèmes complexes*, op. cit., p. 64.

critères de sa validité par rapport à notre intention. Nous pourrions alors détailler les caractéristiques essentielles nécessaires pour un tel modèle de représentation.

1.1 Rôle et validité des modèles

Différentes préoccupations peuvent motiver la construction d'un modèle de représentation d'un système réel, et en particulier⁵ :

- refléter le comportement du système étudié,
- prédire son évolution future,
- aider à la prise de décision.

Le premier point renvoie au domaine de l'expérimentation scientifique, et à la reproduction "*in vitro*" de situations de gestion observables en entreprise. Le modèle sert alors de support pour analyser et comprendre les phénomènes se déroulant réellement au sein des organisations productives⁶. Lorsque le modèle est interprété par un acteur de l'organisation, il sert de plus à augmenter la connaissance et la compréhension que le système réel possède de lui-même, et participe ainsi à l'amélioration de sa performance. Les deux autres points, prédiction de l'évolution future et aide à la décision, sont fréquemment réalisés en entreprise à partir de modélisation du réel : à titre d'exemple, une suite de valeurs actualisées peut être considérée comme un modèle simple et monocritère de démarche d'investissement.

Cependant, l'utilisation d'un modèle comme aide à la décision, ainsi que pour prédire une évolution future, pose naturellement un problème de validation, c'est-à-dire d'estimation de l'écart entre phénomènes réels et phénomènes modélisés. Ce problème de validation pourrait classiquement être décliné en terme de précision de la représentation des différents éléments qui constituent le réel, ou encore en terme de capacité à prédire des comportements qui apparaîtront effectivement dans l'avenir. Un modèle serait dans ce cas valide à la condition que les éléments qui le composent soient une image fidèle de la réalité. Nous retrouvons bien sûr ici l'approche cognitiviste qui associe la cognition à la computation de représentations symboliques, et qui estime qu'un système cognitif fonctionnera de manière appropriée quand les symboles manipulés représentent

⁵ D. DUBOIS : "Limites à la modélisation des systèmes", in *Modélisation et maîtrise des systèmes techniques économiques sociaux*, Actes du congrès de l'AFCEC, Tome 1, 1977, p 171.

⁶ Cf. M. HOLLARD (dir.) : *Génie industriel : les enjeux économiques*, PUG, 1994, p. 21.

adéquatement le monde réel, et quand le traitement de l'information aboutit à une solution efficace du problème soumis au système⁷.

Pourtant, nous préférons considérer, à la suite de P. Lorino, que "modéliser n'est pas reconstituer objectivement, mais interpréter et communiquer"⁸, et qu'il ne s'agit pas de "trouver la représentation exacte qui reproduit le plus fidèlement la réalité, mais la représentation efficace qui fait prendre de bonnes décisions et amorce un processus d'apprentissage"⁹. C'est pourquoi nous pensons que la validité d'un modèle ne dépend pas de sa distance au réel, mais de sa capacité à favoriser la communication pour faire partager les problèmes, et de son aptitude à générer une interprétation qui oriente les comportements. Il n'est donc pas indispensable que les éléments qui composent un modèle constituent une image fidèle de la réalité pour que le modèle soit valide au sens où nous l'entendons. La méthode kanban est une illustration significative de ce point de vue : les cartes ne contiennent aucune description des machines, des nomenclatures, ou des gammes de fabrication, et permettent pourtant de piloter un flux de pièces, d'améliorer la communication autour de ce flux et d'orienter les comportements des acteurs qui utilisent le modèle.

C'est pourquoi, dans la suite de notre démarche, nous considérerons que modéliser revient à présenter de l'information d'une manière qui fasse émerger une signification auprès de l'observateur du modèle. Dans ce sens, la création d'un modèle participe à l'augmentation de la connaissance sur le réel, et favorise d'une part la recherche d'une solution pour un problème donné, et d'autre part la formulation de problèmes nouveaux. Nous retrouvons alors une position proche du connexionnisme, où les propriétés émergentes doivent amener une solution adéquate pour un problème déterminé, mais également proche de l'énaction, où le modèle a pour rôle de faire émerger un processus permanent de créativité, permettant d'inventer les questions pertinentes à chaque étape d'un problème¹⁰. Nous retrouvons également la différence entre la modélisation analytique qui amène la réponse unique à un problème posé, et la modélisation systémique dont l'idéal n'est plus l'objectivité du modèle, mais "la capacité du modélisateur à exprimer ses projets de modélisation, c'est-à-dire les finalités qu'il propose au modèle d'un système complexe qu'il perçoit à priori finalisé (...)"¹¹.

⁷ Cf. Chapitre 4, section 2, 1.1.

⁸ P. LORINO : *L'économiste et le manager*, Editions La Découverte, 1991, p. 132.

⁹ *Idem*, p. 117.

¹⁰ Cf. Chapitre 4, section 2, 1.1.

¹¹ J. L. LEMOIGNE : *La modélisation des systèmes complexes*, op. cit., p. 65.

Un modèle ne doit donc pas être considéré comme un outil fermé de décision, au sens de la recherche opérationnelle, qui donnerait l'unique solution optimale en réponse à un problème bien défini, mais comme une représentation partagée qui oriente les comportements d'acteurs multiples vers un consensus menant à une performance collective satisfaisante. L'augmentation de connaissances induite par l'observation du modèle se répercute alors aussi bien dans la sphère de valorisation des ressources existantes, à travers la mobilisation et la synchronisation des efforts locaux dans le sens d'une performance globale, que dans la sphère de création de ressources nouvelles, par l'émergence créative liée à la formulation de problèmes nouveaux.

Dans le cadre de la représentation d'un système de production, nous retrouvons ici la nécessité d'un lien particulier entre d'un côté la phase de conception, naturellement reliée à l'investissement, et de l'autre la phase d'exploitation, reliée au fonctionnement quotidien du système. Nous avons vu en effet que la démarche Kaizen préconisait d'associer les deux dans un processus organisationnel d'amélioration continue de la performance, alors qu'elles n'étaient couplées que par l'intermédiaire d'objectifs normatifs dans le calcul économique traditionnel. Pour favoriser la symbiose entre ces deux phases, il apparaît donc judicieux de les orienter selon un modèle de représentation unique, qui permette le développement de réflexions permanentes à la fois sur la conception et sur l'exploitation.

Notons bien qu'il ne s'agit pas de réaliser un modèle absolu de conception des systèmes de production, ce qui reviendrait à imaginer à l'avance tous les événements ou perturbations auxquels le système sera confronté pendant sa phase d'exploitation, ramenant ainsi toute l'activité intelligente de production à une seule phase amont de conception du système productif. Ce modèle est clairement irréalisable tant il s'oppose au principe de rationalité limitée en situation d'information imparfaite. Aussi, nous ne nous dirigerons pas vers un modèle figé qui reconstruirait une théorie micro-économique, mais nous considérerons au contraire la modélisation comme une aide évolutive à la décision, ce qui remplace finalement le concept inaccessible de modèle de conception par un concept que nous pourrions nommer *modèle d'innovation*, et qui rend bien compte du rôle d'énaction que doit posséder un modèle valide de représentation pour une organisation productive.

Nous allons détailler à présent les propriétés essentielles requises pour un tel modèle de représentation, ce qui nous donnera un cadre d'analyse pour étudier les différents types de modèle existants.

1.2 Propriétés requises

La démarche d'étude que nous avons déroulée jusqu'à présent nous a permis d'analyser les comportements des organisations productives face au nouveau contexte industriel. Nous avons ainsi décelé à partir du mouvement vers la flexibilité et vers l'intégration, qui apparaissait comme un mode de réponse aux instabilités de l'environnement, un ensemble de particularités émergentes qui marquent fortement les nouveaux systèmes de production. Parmi ces particularités, deux évolutions fondamentales représentent bien les transformations récentes de ces systèmes : le rapprochement entre la structure décisionnelle et le flux physique, et le développement de l'autonomie vis-à-vis de la commande. Il est essentiel de pouvoir représenter aisément ces deux aspects des nouvelles organisations productives et nous allons préciser les contraintes que cela induit en terme de modélisation.

Rapprochement entre structure décisionnelle et flux physique

Le rapprochement entre la structure décisionnelle et le flux physique provient d'un besoin d'amélioration de la réactivité des systèmes de production face aux perturbations de leur environnement. Nous avons indiqué que la frontière entre les sous-systèmes physique, informationnel et décisionnel était structurellement remise en cause par le processus d'intégration déclenché par ce besoin de réactivité, et nous avons montré à ce propos l'intérêt de favoriser les processus d'évaluation dynamiques au niveau des acteurs directement opérationnels sur le flux de production¹². Pour rendre compte de ce transfert de l'activité décisionnelle vers le système physique, il faut passer d'une vision monolithique et centralisée de l'information et de la décision à une vision répartie et distribuée. En terme de modélisation, cela signifie que nous devons représenter sur un même modèle à la fois le flux de production au sens de la transformation de matière première en produits finis, et les comportements de gestion qui animent ce flux physique.

En effet, en présentant simultanément le flux de production et les comportements de gestion, le modèle permettra la compréhension des interactions entre d'une part les rationalités qui induisent les comportements des acteurs et qui conditionnent leurs prises de décisions, et d'autre part les évolutions du flux physique de production. Il permettra également d'intégrer les phénomènes de coordination des activités de production par des canaux horizontaux de communication entre personnes de même rang et entre ateliers,

¹² Cf. Chapitre 4, section 1, 2.1.

notamment au sens de la firme J de M. Aoki¹³. Plus globalement, il permettra ainsi d'aborder les problèmes liés aux interactions entre les différents acteurs d'un système complexe, ainsi que les effets de ces interactions sur la performance productive au niveau physique.

Dans cette approche, nous devons cependant respecter la spécificité des niveaux physique, marchand et financier, et différencier les critères à retenir pour évaluer chacun de ces niveaux selon les concepts d'efficacité, d'efficience et d'effectivité¹⁴. De plus, nous devons montrer, à travers le modèle de représentation, les interactions entre ces niveaux, et notamment expliciter les liens qui relient les performances physiques aux performances marchandes. En effet, hormis pour sa composante commerciale (travail de marketing et de vente), la compétitivité "hors-prix" reste dans une entreprise industrielle essentiellement déterminée par l'organisation du flux physique de production. En particulier, la fiabilité, la fluidité, la réactivité, ou même la qualité des produits fabriqués sont fortement conditionnées (en particulier via des règles de gestion : taille de lot, stock de sécurité, ...) par des caractéristiques de niveau physique : taux de pannes des machines, temps de changement d'outil, taux de rebut, ... C'est pourquoi l'émergence de la compétitivité hors-prix face à l'ancienne compétitivité prix issue de la seule productivité des facteurs ne doit pas induire une baisse d'intérêt pour les événements qui se déroulent au niveau physique. Bien au contraire, un modèle de représentation de système de production doit plus que jamais montrer les liens entre les caractéristiques physiques des composants et la compétitivité globale du système. De même, le flux financier est dans une entreprise industrielle fortement dépendant de la valeur créée le long du flux physique de production, et les caractéristiques physiques du système ont naturellement des répercussions importantes sur les performances financières. C'est pourquoi le modèle de représentation doit également montrer la façon dont le flux financier se construit à partir du flux physique de production et à partir d'événements de nature commerciale.

Développement de l'autonomie

Dans le cadre du rapprochement entre la structure décisionnelle et le flux physique, les processus d'évaluation qui se développent au plus près des acteurs directement opérationnels ne peuvent s'exprimer que dans un contexte d'autonomie minimum. Le développement de l'autonomie vis-à-vis de la commande provient donc également du besoin d'amélioration de la réactivité des systèmes de production face aux perturbations de leur

¹³ Cf. Chapitre 4, section 2, 2.2.

¹⁴ Cf. Chapitre 4, section 1, 2.2.

environnement, mais aussi, dans un sens de flexibilité plus dynamique, d'un besoin de mobilisation collective autour d'une activité d'innovation permanente qui renvoie à la sphère de création de ressources nouvelles.

Nous avons établi toutefois la nécessité d'un dosage entre l'autonomie et la commande, parce que les processus cognitifs qui se déroulent au sein des organisations productives ne peuvent s'affranchir des contraintes opérationnelles liées aux finalités du système et renvoyant, cette fois-ci, à la sphère de valorisation des ressources existantes. C'est pourquoi un modèle de représentation doit à notre sens permettre de comprendre les effets de différents dosages sur la performance globale du système. Il doit donc à la fois présenter la hiérarchie linéaire associée à l'approche cybernétique du contrôle et de la commande, et présenter l'intégration en niveaux emboîtés d'intégration associée à l'approche autopoïétique qui mène à des structures de représentation méta-systémiques. Il doit ainsi faire apparaître la dualité de ces deux points de vue pour l'observation des organisations productives.

Notons également qu'en écho au développement de l'autonomie, et donc à la décentralisation des décisions, nous devons admettre l'omniprésence de rationalités multiples au sein des organisations productives. Comme nous ne pouvons pas considérer que les individus se comportent tous suivant la même rationalité, nous devons donc représenter les critères individualisés et répartis qui orientent spécifiquement les décisions individuelles des acteurs. La compréhension des déterminants de la performance globale d'une organisation productive devra ainsi passer par la représentation des processus décisionnels autonomes des différents acteurs et par la représentation de l'effet des rationalités locales (individuelles et collectives) sur le comportement du système. Nous devons donc représenter un ensemble de rationalités réparties qui guide les comportements de chaque acteur et oriente leurs décisions.

En représentant de cette sorte les organisations productives, nous permettons par ailleurs le passage d'une évaluation des performances comme mesure de conformité à un objectif unique de maximisation de profit, à une évaluation fondée sur une approche multi-acteurs et multi-critères.

Notons enfin que l'évaluation de la performance selon des critères d'efficacité statique de production, doit être complétée par une approche en terme de dynamique d'innovation. Dans ce but, nous devons non seulement représenter les fonctions de transformation de la matière première en produits finis et la circulation du flux financier, mais également les actions, les projets et les transformations qui se développent au sein des organisations

productives. En particulier, le déplacement depuis l'entreprise-facteurs vers l'entreprise-compétences induit un nécessaire déplacement de la représentation de la firme, depuis une fonction de production néoclassique centrée sur le produit, vers des modèles de représentation centrés sur les processus, c'est-à-dire décrivant à la fois les activités de valorisation des ressources existantes et les activités cognitives de création de ressources nouvelles. C'est pourquoi un modèle de représentation doit à présent intégrer les rationalités et les connaissances qui participent au processus de décisions multi-niveaux, et décrire l'évolution de ces connaissances dans le temps, à travers les processus d'apprentissage individuels et collectifs.

2. Principaux formalismes de représentation des systèmes de production

Il existe un très grand nombre de représentations des systèmes de production. Nous laisserons de côté les modèles à caractère événementiel (réseaux de Petri, Graphcet, ...) liés à des problématiques d'automatique séquentielle, ainsi que les modèles destinés à la conception des systèmes d'information (SADT, Merise, ...). En revanche, il nous paraît important de positionner par rapport à notre problématique de recherche les deux modèles de référence en gestion de production que sont GRAI et CIMOSA¹⁵, ainsi que le projet de recherche MIPS, et d'identifier en particulier leurs apports vis-à-vis de notre volonté de représenter d'une part l'intégration entre la structure décisionnelle et le flux physique, et d'autre part le développement de l'autonomie des acteurs.

2.1 Le modèle GRAI

La méthode GRAI est fondée sur un modèle conceptuel qui vise à identifier selon une vision systémique les composants d'une organisation ainsi que leurs relations sur le plan statique et dynamique. Ce modèle conceptuel décrit un système complexe et hiérarchisé,

¹⁵ Un autre modèle de référence est IDEF (ICAM DEFinition, Integrated Computer Aided Manufacturing) qui est constitué de IDEF0 basé sur les actigrammes de SADT pour produire un modèle des fonctions du système, de IDEF1 destiné à produire un modèle du système d'information, et de IDEF2 destiné à étudier le comportement d'un atelier au cours du temps. Cette modélisation s'adresse de façon spécifique aux industries manufacturières désireuses de rechercher une meilleure productivité par l'intégration de moyens informatiques (Cf. H. PIERREVAL : *Les méthodes d'analyse et de conception des systèmes de production*, Hermès, 1990, p. 14.). Nous ne développons pas ici cette approche très centrée sur l'informatique comme unique moyen d'intégration et de recherche de productivité, et décalée en ce sens de notre problématique de recherche.

décomposé en activités à caractère décisionnel, informationnel et physique¹⁶. La représentation graphique du modèle montre les sous-ensembles décisionnel (ensemble des centres de décision qui pilotent le flux physique) et informationnel (ensemble des informations d'origine interne ou externe permettant d'alimenter le système de décision) dont la réunion constitue le système de gestion de production, ainsi que le sous-système physique (hommes de production, moyens, matières, techniques) :

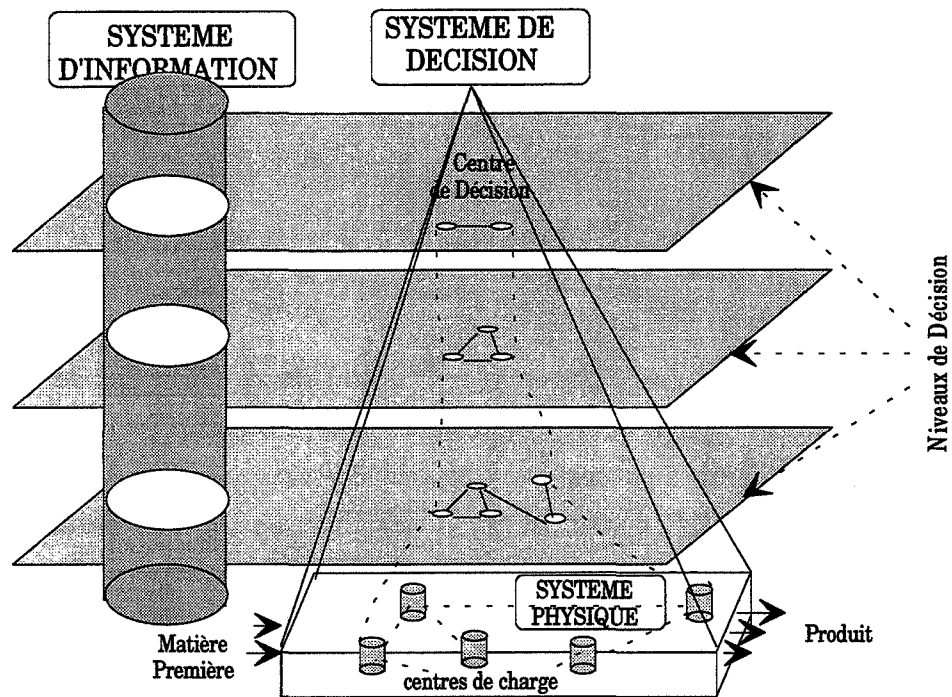


Schéma 22 : Le modèle GRAI

Dans sa représentation globale, la méthode GRAI sépare donc les activités d'information, les activités de décision et les activités physiques. Peu orientée vers l'analyse du flux physique de production, elle est en revanche particulièrement adaptée à l'étude du système décisionnel, qu'elle détaille selon une décomposition à la fois temporelle et fonctionnelle.

Sur l'axe temporel, les décisions sont ainsi classées d'après des horizons de temps qui rejoignent les niveaux de décomposition de R. Anthony, et d'après des périodes relatives à l'intervalle de temps séparant leur remise en question. Cette classification renvoie

¹⁶ M. ROBOAM : *La méthode GRAI*, TEKNEA, 1993, p. 32.

naturellement à la vision pyramidale classique de la hiérarchie comme le montre bien la forme géométrique du système de décision dans la représentation GRAI. Les activités de décision situées sur chaque niveau sont ensuite classées selon des critères fonctionnels en centres de décisions élémentaires, et en centres de charge pour le niveau physique. Un centre de décision regroupe donc un ensemble d'activités de décision appartenant à un même niveau horizon-période et remplissant une même fonction, ce qui permet de détailler fonctionnellement le système de décision selon les activités traditionnelles des systèmes de production : planification, approvisionnement, fabrication, contrôle, livraison, ...

Chaque centre reçoit un cadre de décision d'un niveau supérieur ou d'un même niveau, et définit des cadres de décision pour les centres de décision de niveau inférieur ou de même niveau¹⁷. Ce cadre de décision oriente l'activité du décideur en lui indiquant ce qu'il faut faire, ce sur quoi il peut agir, et dans quelles limites. Il contient en particulier des ordres, des objectifs, des moyens d'action, des limites, et des procédures de mise en oeuvre. En permanence, le décideur compare les résultats atteints avec les performances qu'il attend et agit en retour par modification des cadres de décision, et par ajustement sur les processus physiques.

Enfin, la méthode GRAI mène également à l'établissement d'une grille d'activité qui matérialise la situation des différents centres de décisions les uns par rapport aux autres, et qui met en évidence les liens décisionnels ou les cadres de décision qui les relient. Trois fonctions de base constituent l'ossature de la grille d'activité¹⁸ :

- la fonction de planification qui vise à déterminer le plan de réalisation des produits demandés compte tenu des matières approvisionnées et des ressources affectées à la fabrication, et qui assure la synchronisation et la coordination des différents centres de décision.
- la fonction de gestion des ressources qui optimise l'utilisation des compétences des personnels et des machines, conformément aux stratégies de l'entreprise, et dans un objectif général de maîtrise des coûts.
- la fonction d'acquisition qui regroupe les activités d'achat externe de matières et de composants, et les activités de gestion interne des pièces.

¹⁷ H. PIERREVAL : *Les méthodes d'analyse et de conception des systèmes de production*, op. cit., p. 28.

¹⁸ G. DOUMEINGTS : *La méthode GRAI*, Cours polycopié, p. 14.

Le schéma suivant donne un exemple d'analyse d'une organisation productive à travers une grille GRAI¹⁹.

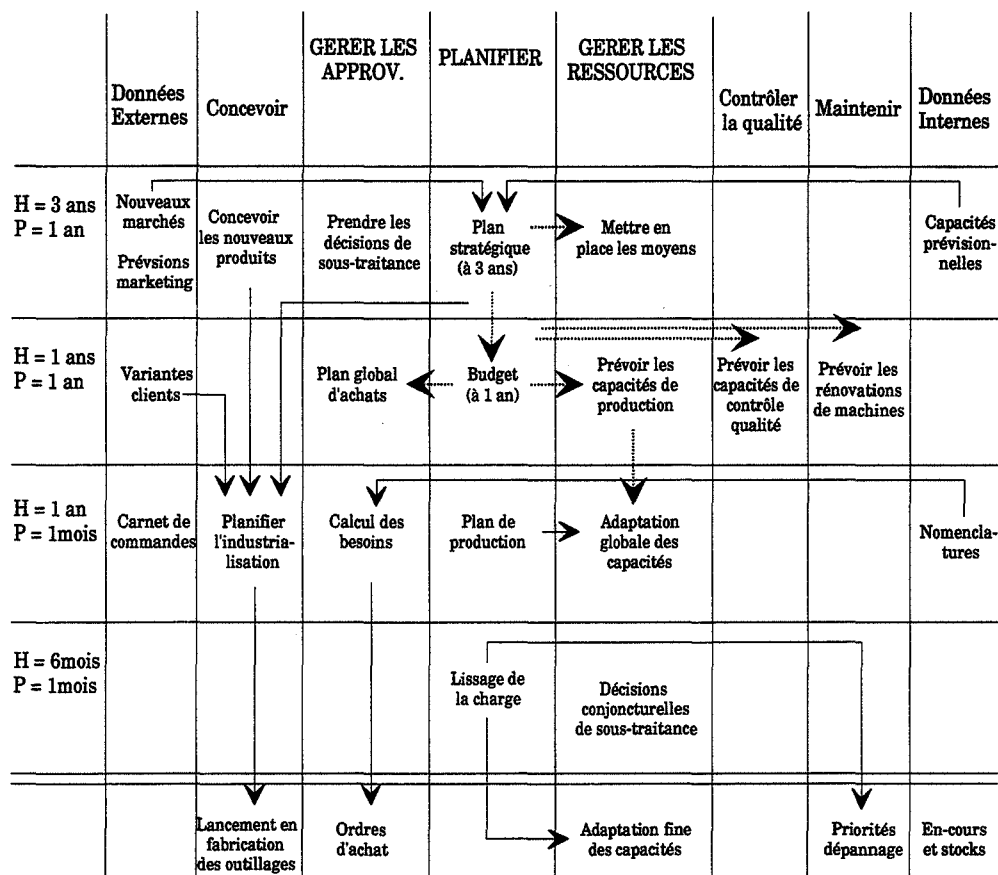


Schéma 23 : Exemple de décomposition d'un système de production selon la grille GRAI

Nous retrouvons sur l'axe horizontal la décomposition fonctionnelle autour des trois fonctions de base complétées par des activités secondaires (conception, contrôle, maintenance, ...), et sur l'axe vertical la décomposition temporelle. Les liaisons décisionnelles (en pointillés) matérialisent la transmission de cadres de décision depuis un centre de décision vers un autre, et les liaisons informationnelles assurent la communication des informations entre les centres.

Enfin, ECOGRAI a récemment été développée comme prolongement de la méthode GRAI pour concevoir et implanter des systèmes d'indicateurs de performance en milieu

¹⁹ D'après G. DOUMEINGTS : *La méthode GRAI, op. cit.*, p. 18.

industriel²⁰. Cette méthode s'appuie sur les outils de la démarche GRAI, et en particulier sur le modèle conceptuel hiérarchique ainsi que sur la grille d'analyse. Elle vise notamment à résoudre les problèmes de localisation des indicateurs de performance dans les centres de décision, et de coordination entre les indicateurs de différents centres.

Cependant, les concepts de base sur lesquels s'appuie la modélisation GRAI ne correspondent pas pleinement aux problématiques des organisations productives telles que nous les avons identifiées dans notre démarche.

En premier lieu, les activités de décision sont systématiquement décomposées par la méthode GRAI selon un critère fonctionnel, qui mène à une vision segmentée des activités plus proche de l'entreprise taylorienne-fordienne que de l'organisation productive flexible et intégrée. Certes, la grille GRAI permet de visualiser les liaisons décisionnelles et informationnelles entre centres de décision, mais la volonté actuelle d'intégration dans le but d'économiser le temps des transferts verticaux d'information, de rapprocher les niveaux de décision du terrain d'action, de réduire les temps de réaction, et de gagner ainsi en flexibilité renvoie davantage à la nécessité de représenter l'autonomie décisionnelle de chaque cellule plutôt que la circulation des ordres entre centres fonctionnels. D'ailleurs, nous avons montré lors de l'analyse de la démarche organisationnelle du juste-à-temps que des tâches auparavant distinctes et spécialisées (comme le contrôle de la qualité, la maintenance, et même la conception dans une optique de créativité permanente) étaient à présent intégrées dans une même activité. Or dans la grille GRAI, ces tâches restent pourtant considérées comme des fonctions annexes, vis-à-vis des fonctions principales de gestion des approvisionnement, de planification et de gestion des ressources. Ainsi, nous pensons que l'abandon constaté des regroupements fonctionnels d'activités par sections homogènes et par tâches spécialisées, au profit d'une évolution dans le sens de l'intégration, remet en question une grille d'analyse dont l'une des clefs d'entrée est justement la découpe fonctionnelle.

En second lieu, la décomposition des décisions par périodes renvoie à nouveau à la vision cybernétique de la hiérarchie et à la traditionnelle déclinaison temporelle d'instructions données, du haut vers le bas, accompagnée de la réduction progressive de l'horizon décisionnel au fur et à mesure de la descente des niveaux hiérarchiques. Or cette classification temporelle et hiérarchique, qui structure effectivement la plupart des modèles

²⁰ Cf. M. BITTON et G. DOUMEINGTS : "Conception de systèmes de mesure de performance : la méthode ECOGRAI", in *Gestion Industrielle et Mesure Economique - Ecosip*, Economica, 1990, p 251. La méthode GRAI est également présente dans la méthode GIM qui intègre trois démarches complémentaires (Grai, Idef0, Merise) pour mettre à disposition des analystes une boîte à outil méthodologique adaptée aux systèmes de production. Cf. H. PIERREVAL, *op. cit.*, p. 36.

classiques de gestion, est fortement remise en question par le déplacement actuel depuis l'entreprise-facteurs vers l'entreprise-compétences. En effet, et comme nous l'avons indiqué plus haut²¹, il semble que la décomposition en périodes temporelles ne corresponde plus aux habitudes de travail des organisations productives flexibles et intégrées, et ne reflète plus bien la réalité de la prise de décision au sein des nouvelles organisations productives.

C'est pourquoi, dans le cadre de la problématique que nous avons posée, nous souhaitons utiliser un modèle qui représente davantage le mouvement des organisations productives vers la flexibilité et vers l'intégration. Dans ce but, nous allons à présent analyser le modèle CIMOSA qui est traditionnellement présenté comme un modèle destiné à favoriser l'intégration des systèmes de production.

2.2 Le modèle CIMOSA

Le modèle CIMOSA²² est une architecture normative destinée à favoriser l'évolution des entreprises manufacturières vers le concept CIM de production intégralement informatisée²³. Cette architecture est notamment définie par un cadre de modélisation, appelé aussi "cube CIMOSA", qui s'articule autour de trois axes²⁴ :

- un *axe des vues* qui décompose l'entreprise selon quatre points de vue : les fonctions (fonctionnalités et comportement dynamique du système), les informations (description du système d'information CIM), les ressources (composants matériels, logiciels et humains du système), et l'organisation (responsabilités individuelles, cadres de décision et niveaux organisationnels).

- un *axe de généricité* qui part d'une description générique applicable à toute entreprise, passe par des modèles partiels moins généraux ou moins complets, et aboutit à des modèles particuliers d'entreprise spécifique.

²¹ Cf. chapitre 4, section 3, 1.1.

²² Open Systems Architecture for Computer Integrated Manufacture.

²³ Cf. Chapitre 3, section 2, 1.1.

²⁴ C. FOULARD (Coord.) : *La modélisation en entreprise : CIM-OSA et ingénierie simultanée*, Hermès, 1994, p. 35.

- un *axe des modèles*, qui part de l'expression des besoins (définition des objectifs, élaboration du cahier des charges), passe par la conception des spécifications du système CIM (analyse conceptuelle, analyse du système d'information, ...) et aboutit à la description de l'implantation (matériel utilisé, distribution des informations, ...).

Le schéma suivant décrit le cadre de modélisation défini par le cube CIMOSA :

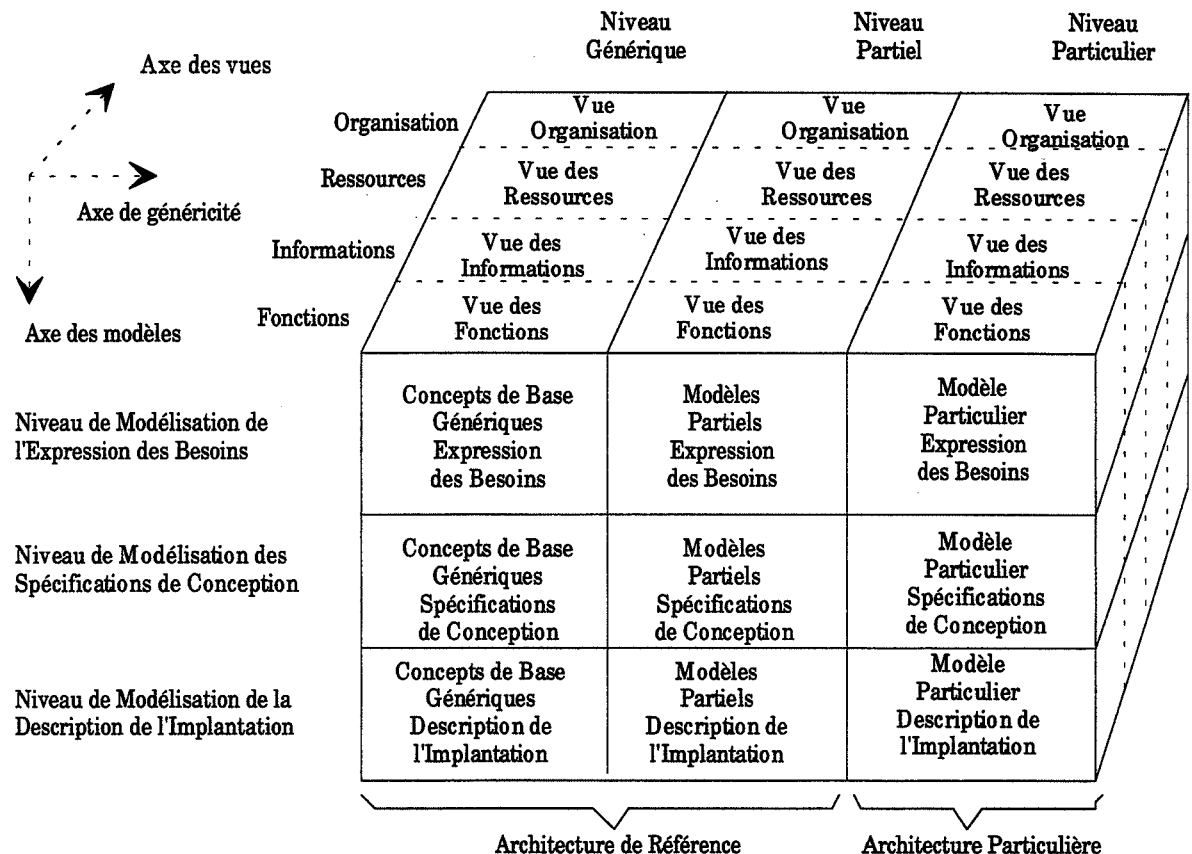


Schéma 24 : Le cadre de modélisation CIMOSA

Le choix d'une combinaison à partir de la position sur chacun des trois axes mène à un type de modèle (définition, conception, ou réalisation), selon un point de vue privilégié (fonctionnel, informationnel, de ressources, ou organisationnel), plus ou moins particularisé (générique, partiel, ou particulier).

Nous ne détaillerons pas davantage le modèle CIMOSA. Ce qui nous intéresse plus particulièrement ici est en réalité la démarche retenue pour aborder les problématiques d'intégration des systèmes industriels. En effet, selon l'approche CIMOSA, "le problème de

l'intégration dans les entreprises manufacturières concerne la capacité à faire communiquer et travailler ensemble les divers composants de l'entreprise (hommes, machines, systèmes informatisés, ...) dans un environnement distribué et de manière coordonnée et cohérente en fonction des objectifs de production à atteindre²⁵. Dans ce cadre, l'approche CIMOSA traite l'intégration essentiellement à travers le point de vue de la normalisation et de l'automatisation du traitement et de l'accès à l'information, ce qui mène les auteurs qui décrivent cette méthode à une définition de la productique comme "l'utilisation rationnelle de la technologie de l'information dans la technologie manufacturière"²⁶. En conséquence, si le modèle CIMOSA est bien destiné à favoriser l'intégration des systèmes de production, il concerne en réalité essentiellement la composante technologique de cette intégration : nous sommes ici dans un schéma lié au concept CIM, dans lequel toutes les tâches - de la conception des produits à leur expédition, en incluant l'assemblage, le stockage, la manutention, ainsi que le contrôle qualité ou la maintenance des machines - seraient gérées et contrôlées de façon informatique. Or, nous ne souhaitons pas centrer notre modélisation sur la composante technologique, en premier lieu parce que nous avons indiqué que le paradigme de l'ordinateur ne permettra pas de gérer totalement la complexité des organisations productives²⁷, ensuite parce que nous recherchons un modèle d'innovation qui permette la compréhension des phénomènes productifs et la création de solutions innovantes, et non un modèle de normalisation.

Cette focalisation technologique est également caractéristique du projet de recherche 932 du programme ESPRIT : "Knowledge-based Real-Time Supervision in Computer Integrated Manufacturing", qui a été lancé pour définir une architecture de référence temps réel fondée sur la connaissance pour assister la prise de décision au niveau atelier²⁸. Ce projet a notamment mené au développement du concept de *contrôleur*, unité active dotée de connaissances et de capacités de réflexion au sens de l'intelligence artificielle, qui coordonne des tâches de planification, de contrôle qualité et de maintenance au sein des ateliers qu'il supervise. Cette recherche a ensuite été prolongée dans le cadre du projet ESPRIT 2434 : "Knowledge-based Real-Time Controllers for Distributed Factory Supervision" destiné à aborder le problème de la coordination et de la synchronisation des activités de gestion à partir d'unités de supervision.

²⁵ *Idem*, p. 32.

²⁶ C. FOULARD (Coord.) : *La modélisation en entreprise : CIM-OSA et ingénierie simultanée*, op. cit., p. 31.

²⁷ Cf. Chapitre 3, section 2, 1.2 et Chapitre 4, section 2, 1.1.

²⁸ Cf. G. DOUMEINGT et B. VALLESPER : "Techniques de modélisation pour la productique", in Séminaire international sur les systèmes de production, Tome 1, 1991.

Bien que ces projets intègrent la dimension cognitive par l'appel à des outils du domaine de l'intelligence artificielle et des systèmes experts, il nous semble qu'ils restent à nouveau trop centrés sur la vision des problématiques de production liée au concept CIM. En effet, les activités que la supervision vise à intégrer sont essentiellement "des modules informatiques isolés qui s'ignorent les uns les autres, et qui ne possèdent pas les connaissances nécessaires à leur coordination, celle-ci (devant) être prise en charge par un système spécifique : un superviseur de gestion de production"²⁹. La supervision consiste donc ici à automatiser la synchronisation de divers programmes informatiques dans une optique d'intégration CIM, ce qui centre à nouveau la modélisation sur la composante technologique.

2.3 Le projet de recherche MIPS

Le projet MIPS³⁰ (Maîtriser les Investissements Productiques Stratégiques) a pour objectif "d'offrir aux acteurs techniques ou gestionnaires de l'entreprise un modèle, susceptible d'aider à mener à bien une démarche de rationalisation manufacturière orientée vers l'automatisation des opérations de fabrication"³¹. Son ambition est en particulier de proposer un modèle générique qui puisse guider la conception d'un système de production. Dans ce but, il cherche notamment à associer étroitement les investissements réalisés en fabrication avec les perspectives stratégiques de l'entreprise.

Parmi les outils qui composent le modèle MIPS, se trouvent des modèles de représentation destinés à faciliter l'expression des problèmes posés et à améliorer la communication entre les différents acteurs impliqués. Ces modèles de représentation se répartissent en un module stratégique et un module productique. Le module stratégique a notamment pour objectifs de mettre en cohérence les stratégies financières, marchandes, et manufacturières, ce qui renvoie aux trois niveaux de l'évaluation économique, et de finaliser

²⁹ J. AYEL et J. P. LAURENT : "Système Multi-agents pour coordonner les activités de gestion de production", in *Reconnaissance de Formes et Intelligence Artificielle*, Actes du congrès de l'AFCE, 1992, p. 373.

³⁰ Le projet MIPS a été conduit par un groupe d'acteurs pluridisciplinaire relié par des préoccupations communes de productique : l'ECT, laboratoire d'économie et S-PRI, société de conseil en productique ont apporté l'expertise technico-économique, le LISI, laboratoire d'informatique s'est chargé de valider la cohérence du modèle, les pôles productique d'Aquitaine et de Rhône-Alpes ont évalué la pertinence du modèle, et la société productrice de didacticiels ADDEO en a mesuré l'opérationnalité.

³¹ J. H. JACOT (dir.), J. P. MICAELLI et alii : *Projet MIPS - Maîtriser les Investissements Productiques Stratégiques - Rapport Final*, mars 1994, p. 11.

le module productique³². Il est composé pour cela de représentations de l'entreprise, dont une représentation comptable fondée sur des équations mathématiques, et une représentation graphique de l'espace stratégique de l'entreprise suivant trois axes (technologie, organisation et marché), qui permet de situer la position et la trajectoire de l'entreprise.

D'autre part, l'architecture MIPS structure horizontalement la démarche de rationalisation manufacturière en étapes successives de représentation, de définition d'objectifs, de mesure des performances physiques de la solution envisagée, de mesure des coûts de cette solution, de suivi des performances, et de capitalisation des retours d'expérience.

Sans entrer davantage dans le détail de la terminologie MIPS, nous notons que la dimension cognitive est bien présente dans ce projet, car le modèle est considéré par ses auteurs comme un support d'apprentissage productique : "MIPS permet de faire coopérer et de coordonner les connaissances réparties car chacun peut comprendre, expliciter, décrire et communiquer ce dont il a besoin"³³. Ce modèle se situe donc bien dans la classe des représentations destinées à établir une vision collective et partagée des organisations productives.

Cependant, les auteurs indiquent également qu'une faiblesse de ce modèle est de présupposer que toute intervention sur le système physique vise à l'automatisation partielle ou totale, et reconnaissent que "même si l'automatisation est une des problématiques les plus difficiles à gérer dans l'entreprise et qu'il y a besoin d'aides à la décision dans ce domaine, il ne faut pas perdre de vue que ce n'est pas la seule problématique... ni la seule réponse"³⁴. Nous pensons effectivement que la dimension organisationnelle est fondamentale dans les systèmes productifs, et qu'elle mérite une attention au moins aussi grande que la dimension technologique. C'est pourquoi nous souhaitons nous appuyer sur un formalisme de modélisation qui permette de représenter également les évolutions organisationnelles d'un système de production. Dans ce but, nous allons aborder à présent la méthodologie de l'analyse modulaire des systèmes, dont nous nous inspirerons effectivement pour la construction de notre formalisme de représentation.

³² *Idem*, p. 66.

³³ *Ibid.*, p. 21.

³⁴ *Ibid.*, p. 55.

3. L'analyse modulaire des systèmes

L'analyse modulaire des systèmes (AMS) est une méthodologie de description des organisations mise au point par J. Mélése. Elle est destinée à la compréhension et à la formulation des problèmes qui concernent les organismes complexes, à partir de la description de leur structure et de leur fonctionnement³⁵. Elle conduit à "établir une maquette de l'entreprise qui permet de lui appliquer les points de vue et les principes issus de la théorie de systèmes"³⁶. J. Mélése précise que l'analyse modulaire des systèmes n'est pas un modèle général d'entreprise, ni la solution toute faite à certains problèmes précis, mais plutôt "un langage qui favorise la communication entre les membres de l'entreprise sur les problèmes de responsabilités, d'objectifs, de contrôle, de structure"³⁷. Cette approche est particulièrement intéressante pour notre démarche car elle se situe dans le paradigme systémique, et considère la modélisation comme une méthode de communication et de présentation de l'information dans le but d'améliorer la connaissance et la compréhension du réel et de favoriser la recherche de solutions ainsi que la formulation de problèmes nouveaux. Elle correspond donc bien à l'approche que nous avons retenue d'un modèle, non pas comme outil fermé de décision fondé sur une représentation exacte qui reproduise le plus fidèlement la réalité et donne une solution unique à un problème posé, mais comme représentation qui permette de prendre des décisions satisfaisantes et amorce un processus d'apprentissage. J. Mélése indique à ce propos que "la distinction entre analyse de système et recherche opérationnelle ou modèle économique provient essentiellement de la prise en compte globale de phénomènes complexes comportant un grand nombre de variables, certaines non quantifiables, ce qui détourne de la recherche de modèles mathématiques expliquant l'ensemble du phénomène, et fait définitivement renoncer à l'optimisation"³⁸. Nous retrouvons ici le contexte d'information limitée qui renvoie à une rationalité de type procédurale, au sens de H. Simon, pour traiter la complexité issue de la variété et de l'enchevêtrement des interactions humaines dans une organisation.

L'analyse modulaire des systèmes est donc fondée sur un ensemble de concepts qui correspondent bien à l'approche systémique que nous avons retenue dans notre démarche.

³⁵ J. MELESE : *L'analyse modulaire des systèmes*, Les Editions d'organisation, 1991, p 13.

³⁶ *Idem*.

³⁷ *Ibid.*, p. 8.

³⁸ *Ibid.*, p. 12.

C'est pourquoi nous allons à présent détailler cette méthode de représentation, notamment dans son application aux organisations productives.

3.1 Description du formalisme de l'analyse modulaire des systèmes

L'analyse modulaire des systèmes permet de représenter sur un modèle unique, à la fois le flux physique de production et le comportement décisionnel des acteurs. Nous allons dans un premier temps détailler le principe de représentation du flux physique, puis nous exposerons, selon une démarche d'enrichissement progressif du modèle, les liens entre le flux de production et la structure décisionnelle.

L'activité principale d'une entreprise industrielle (transformation physique de matières premières et de composants en produits finis) est représentée dans l'analyse modulaire des systèmes par une boîte nommée *module technologique* (M.T.). Dans l'exemple d'un atelier d'usinage, le module technologique peut prendre la forme suivante³⁹ :

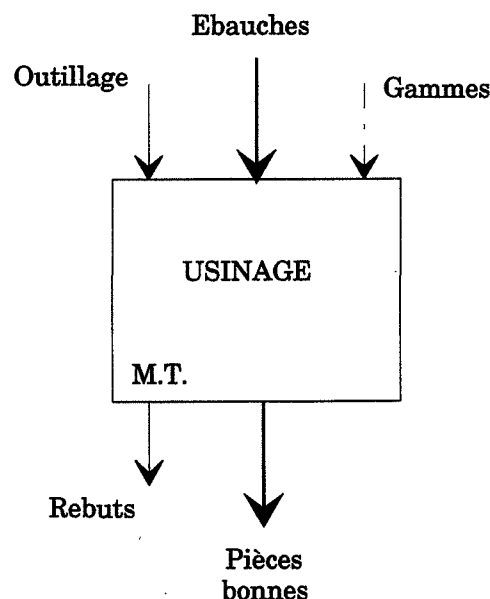


Schéma 25 : Module technologique d'usinage représenté selon le langage AMS

³⁹ *Ibid.*, p. 90.

Sur cet exemple, le module technologique transforme des ébauches en pièces usinées, selon un flux physique nommé *flux technologique principal*. La transformation de ce flux principal correspond à la mission première du module technologique, et est rendue possible par des *entrées technologiques secondaires* (ici des outillages) et par des *entrées opératives* (ici des gammes de fabrication). Ces deux entrées sont nécessaires à la réalisation de la transformation principale, mais n'entrent pas dans la composition du produit fabriqué, et en restent d'ailleurs séparées par le symbolisme graphique utilisé. En sortie, le module produit ici, outre les pièces bonnes, des pièces à rebuter qui constituent une *sortie technologique secondaire*.

Cette description très fonctionnelle permet de représenter un flux de fabrication complet par juxtaposition de modules technologiques en série ou en parallèle selon les étapes successives de transformation ou d'assemblage. J. Mélése indique que ce formalisme s'applique également au cas d'opérations administratives de transformation pour lesquelles le flux principal est un flux d'information (processus de paie, de traitement comptable d'informations, ...) ⁴⁰. Le module prend dans ce cas le nom de *module de traitement*. Les modèles descriptifs d'entreprises industrielles selon la méthode d'analyse modulaire des systèmes pourront donc comprendre dans le cas général à la fois des modules technologiques qui opèrent des transformations de matières premières en produits finis, et des modules de traitement qui transforment de l'information.

Ces modules de transformation sont cependant considérés par J. Mélése comme des machines non autonomes, qui doivent en conséquence être dirigées en permanence par des modules de pilotage. L'auteur se place donc dans le paradigme de la commande en considérant que "toute activité technique ou administrative peut être représentée sous forme d'un couple module de pilotage - module technologique" ⁴¹. Dans la terminologie de l'analyse modulaire des systèmes, les *modules de pilotage* (M.P.) ont pour mission de contrôler et de réguler (dans un sens très cybernétique) les transformations opérées par les modules technologiques. Sur l'exemple précédent d'atelier d'usinage, le couple module de pilotage - module technologique peut être représenté de la façon suivante :

⁴⁰ *Ibid.*, p. 92.

⁴¹ *Ibid.*

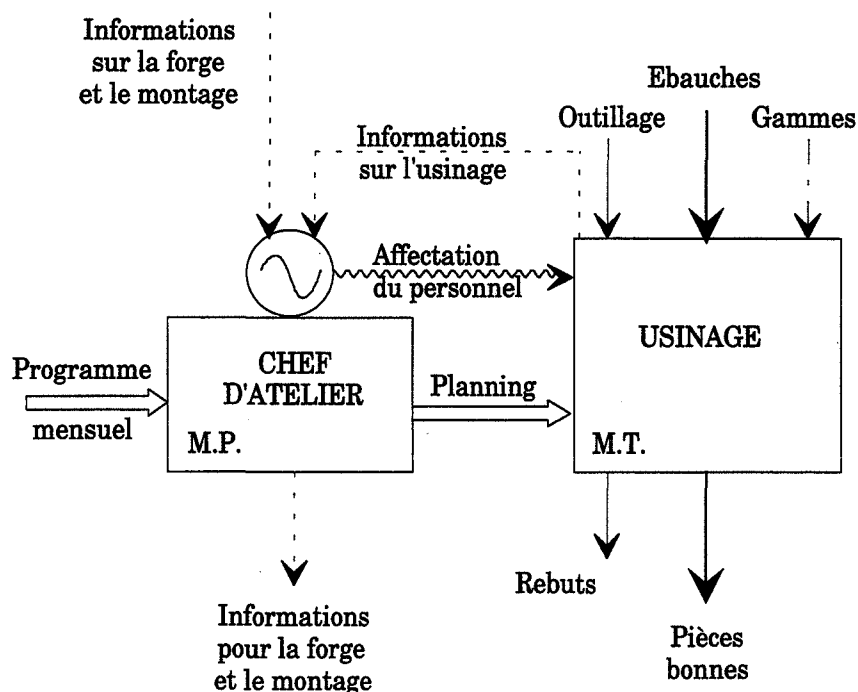


Schéma 26 : Association d'un module de pilotage et d'un module technologique d'usinage

Le module de pilotage de l'atelier d'usinage est ici identifié à un chef d'atelier qui reçoit des directives d'un niveau supérieur (programme mensuel de fabrication) et émet des directives de niveau propre vers l'atelier (planning journalier de travail). Ce module remplit donc une mission de transformation d'ordres en provenance de la direction et constitue en cela un maillon de la chaîne hiérarchique de contrôle et de commande de l'entreprise. Nous retrouvons ici, selon la vision hiérarchique traditionnelle, une déclinaison dans le temps d'instructions données, depuis le programme mensuel vers le planning journalier. Cependant le modèle de J. Mélése ne se résume pas à une représentation exclusivement liée au concept d'allonomie. En effet, dans l'analyse modulaire des systèmes, il est admis que certaines directives envoyées par le module de pilotage au module technologique ne soient pas le résultat de la transformation de directives de niveau supérieur, mais proviennent directement du niveau propre qui possède "une certaine latitude décisionnelle"⁴². Le concept d'autonomie est donc présent dans ce modèle de représentation, et apparaît sous la forme du symbole ~ qui représente un processus décisionnel local au sein du module de pilotage. Ce processus décisionnel réalise la seconde mission du module de pilotage, qui consiste en une fonction de régulation ou encore de réglage local du module technologique. Le pilote agit

⁴² Ibid., p. 90.

ainsi sur des variables de réglage dans la limite de ses latitudes décisionnelles. J. Mélése précise que ces variables de réglages se distinguent des directives de contrôle précédentes par le fait que le module de pilotage ne reçoit pas, à intervalles réguliers, des directives à détailler, mais est libre d'intervenir au moment où il le souhaite. Dans l'exemple de l'atelier d'usinage, le chef d'atelier peut affecter le personnel aux machines en respectant certaines grilles de qualifications. Il réalise ainsi une opération de réglage sur le module technologique qu'il pilote.

Notons d'autre part que le module de pilotage communique avec son environnement. Ainsi, et toujours dans l'exemple de l'atelier d'usinage, le chef d'atelier reçoit des informations en provenance de son atelier d'usinage, mais également de l'atelier amont de forgeage et de l'atelier aval d'assemblage. Il fournit lui-même des informations aux pilotes des deux autres ateliers. De façon plus générique, la modélisation d'une activité selon le formalisme de l'analyse modulaire des systèmes peut être résumée par le schéma suivant⁴³ :

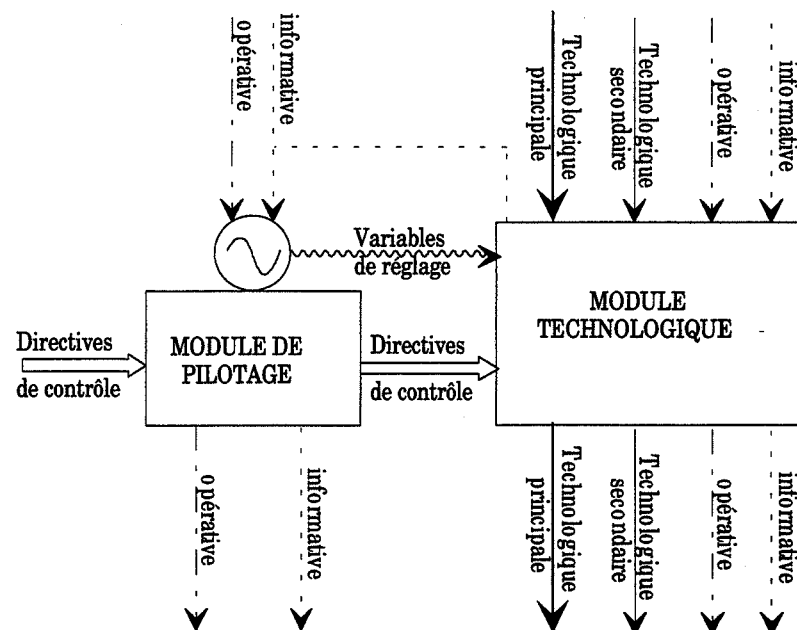


Schéma 27 : Module de représentation générique du langage AMS

⁴³ *Ibid.*, p. 94. J. Mélése représente également trois indicateurs de performance (activité, coût et efficacité) en sortie du module technologique. L'indicateur d'activité est le volume de production selon le flux technologique principal. L'indicateur de coût mesure la part des coûts engendrés par le module sur laquelle le pilote peut agir ; il s'agit donc d'un coût partiel. L'indicateur d'efficacité regroupe des critères très variés qui indiquent la réussite de la mission : respect des délais, respect des règles de sécurité, ... Nous ne plaçons pas ici ces indicateurs que nous reprendrons globalement plus loin sous la forme d'un système de mesure de l'information.

Nous retrouvons autour du module technologique :

- un flux principal qui correspond à l'activité essentielle de transformation du module,
- un flux secondaire de matériel nécessaire à la transformation,
- un flux opératif d'informations nécessaires à la transformation,
- un flux informatif d'informations utiles mais non indispensables à la transformation.

Des directives de contrôle en provenance d'un niveau supérieur entrent dans le module de pilotage, qui les précise et les transforme en directives de niveau propre. Des variables de réglages sont émises directement par le module de pilotage comme résultat d'un processus local de décision.

Enfin, le module de pilotage reçoit :

- des entrées opératives d'informations nécessaires pour transformer les directives reçues,
- des entrées informatives internes sur le fonctionnement de l'activité propre,
- des entrées informatives externes utiles mais non indispensables pour sa mission principale.

Le module de pilotage émet à son tour vers les autres modules :

- des sorties opératives nécessaires à la réalisation de la mission d'autres modules,
- des sorties informatives utiles mais non indispensables à la réalisation de la mission d'autres modules.

3.2 Remarques sur l'analyse modulaire des systèmes

Nous avons déterminé deux évolutions fondamentales représentatives des transformations récentes des organisations productives : le rapprochement entre la structure décisionnelle et le flux physique, et le développement de l'autonomie par rapport à la commande. Le symbolisme de l'analyse modulaire des systèmes semble constituer un cadre assez pertinent pour décrire ces évolutions.

En effet, ce modèle de représentation montre bien les possibilités d'imbrication entre la structure décisionnelle et le flux physique de production. En particulier, la présence des différents modules de pilotage tout au long du flux physique de production renvoie

effectivement à une vision répartie et distribuée de l'information et de la décision, et permet de représenter en détail le couplage permanent entre le flux physique et les processus décisionnels. Le modèle permet également de représenter les canaux horizontaux de communication entre personnes de même rang et entre ateliers, décrits dans la firme J de M. Aoki. Ces canaux sont ici formalisés par les flux opératifs et informatifs qui circulent entre les modules de pilotage.

Le modèle permet donc une certaine représentation des interactions entre les différents acteurs de l'organisation productive, ainsi qu'une représentation des conséquences des choix des pilotes sur la performance au niveau physique. Notons également que la production est abordée dans l'analyse modulaire des systèmes selon une description centrée sur les processus, au sens des chaînes d'activités de transformation de la matière, et non pas sur les produits comme l'est la fonction de production néoclassique. En autorisant l'ouverture de la boîte de transformation des matières premières en produits finis, cette approche rend ainsi possible une analyse en terme organisationnel des systèmes de production.

D'autre part, l'analyse modulaire des systèmes permet la représentation simultanée des circuits hiérarchiques de directives et des processus décisionnels locaux. Les circuits de directives correspondent à la déclinaison d'ordres depuis le haut de la hiérarchie jusque vers les modules de pilotage opérationnels qui pilotent le flux physique. Ils se situent dans le cadre d'une structure de contrôle de type cybernétique, dans laquelle chaque niveau reçoit depuis le niveau supérieur une suite d'instructions qu'il décline sur le plan temporel, puis transmet au niveau inférieur.

Dans l'analyse modulaire des systèmes, la déclinaison hiérarchique est représentée sous forme de structures emboîtées de contrôle. Ainsi, le schéma suivant enrichit l'exemple précédent d'atelier d'usinage par un niveau de contrôle supplémentaire correspondant à la direction de l'usine :

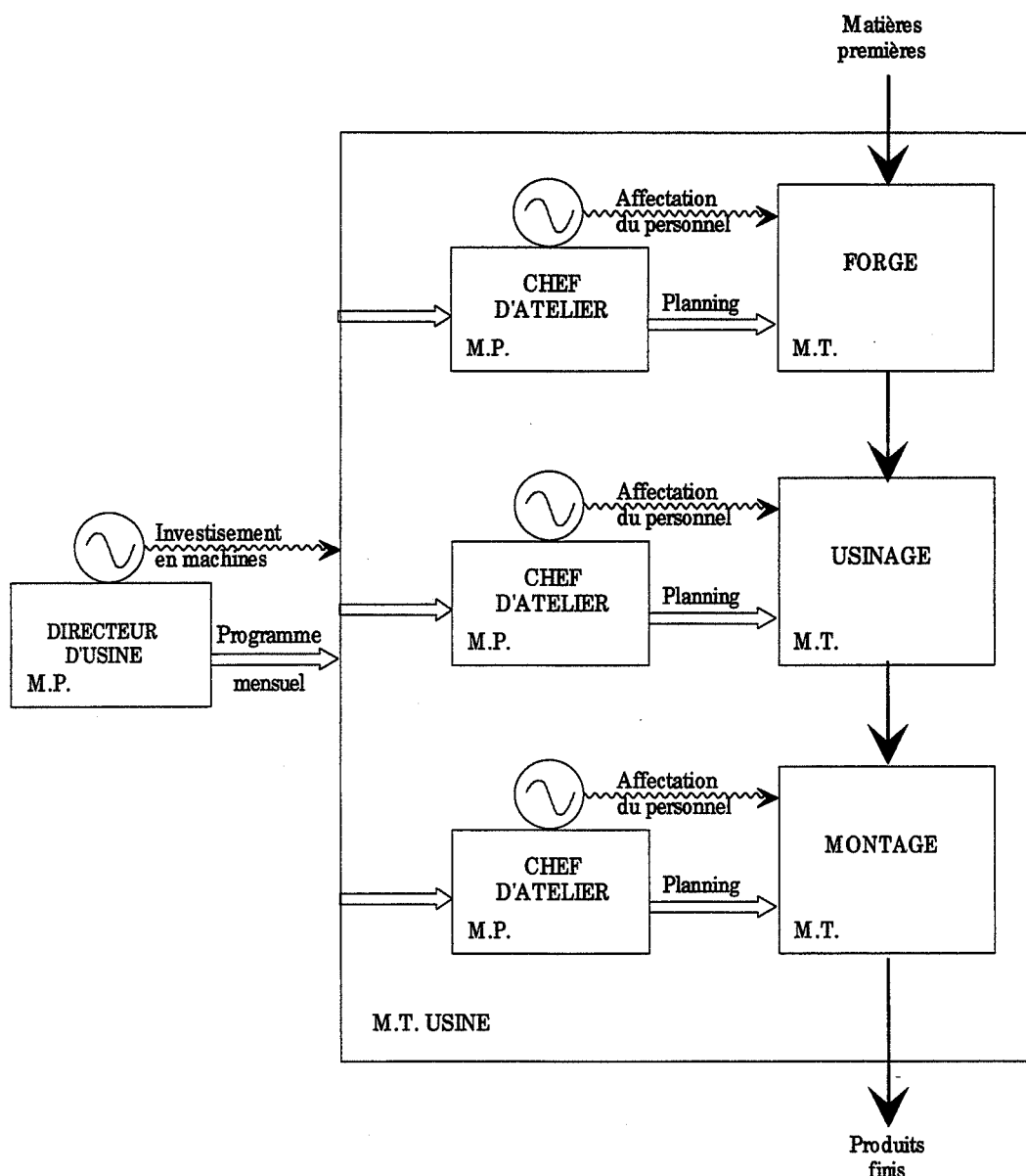


Schéma 28 : Représentation d'une unité de production selon le langage AMS

Notons qu'il est également possible d'étendre la modélisation dans l'autre direction en représentant sous forme de modules de pilotage et de modules technologiques plus détaillés l'intérieur de chaque atelier.

La transformation, par un module de pilotage, d'une directive de niveau supérieur en directive de niveau propre (ici un programme mensuel en planning hebdomadaire) est qualifiée par J. Mélése d'acte de pilotage totalement programmé. Cette transformation correspond en effet à un programme qui convertit des directives entrantes en directives

sortantes, compte tenu d'entrées opératives et informatives. Elle est donc plus proche de l'action, ou encore de la routine au sens de H. Simon, que de la décision⁴⁴.

A l'opposé, les actes de pilotage totalement décisionnels sont également identifiés et représentés dans le schéma précédent. Ils correspondent au comportement discrétionnaire d'un pilote qui utilise sa latitude décisionnelle pour communiquer des variables de réglage à un module technologique (ici l'affectation du personnel). Ces actes de pilotages sont proches des décisions non programmées de H. Simon. Elles sont structurées au sens de G. Gory et M. Scott Morton lorsque le pilote utilise les entrées opératives et informatives et fait appel à un certain nombre d'algorithmes et de structures de raisonnement pour l'aider à avancer dans la phase de résolution, mais peuvent également être non structurées, par absence d'information ou de rationalité.

La réalité, qui correspond à un continuum entre ces différentes positions, est reflétée dans l'analyse modulaire des systèmes par une combinaison d'actes partiellement décisionnels et d'actes partiellement programmés. Un module de pilotage enverra vers le module technologique, à la fois des directives issues du niveau supérieur mais précisées par sa latitude décisionnelle, et des variables de réglage créées à son niveau propre mais conditionnées par des directives de niveau supérieur : "la latitude décisionnelle du pilote est une source de variété qui, d'une part enrichit la transformation des directives entrantes en directives sortantes et, d'autre part, est à l'origine de l'application des variables de réglage"⁴⁵. Ce formalisme rend compte du comportement d'un acteur à la fois comme la conséquence des finalités qu'il essaie d'atteindre, et comme la conséquence des ordres directs qu'il reçoit sous la forme d'instructions à exécuter depuis un niveau hiérarchique supérieur, tout en acceptant que la frontière ne soit pas absolue et qu'un comportement puisse être induit par l'association d'une rationalité propre et de directives externes.

L'analyse modulaire des systèmes permet donc la représentation d'une certaine autonomie décisionnelle au sein des organisations productives, et il s'agit à notre avis d'une ouverture essentielle par rapport aux modèles uniquement centrés sur le concept d'autonomie. Pourtant, il nous semble que cette approche doive être encore précisée pour répondre à nos attentes en terme de représentation des organisations productives.

En effet, et en premier lieu, nous avons indiqué que le comportement d'un acteur au sein d'une organisation est le résultat d'une association entre d'une part des motivations

⁴⁴ Cf. Chapitre 1, section 3, 2.1.

⁴⁵ J. MELESE : *L'analyse modulaire des systèmes*, op. cit., p. 117.

guidées par des indicateurs issus de la déclinaison d'une performance globale décrétée par la hiérarchie, et d'autre part des motivations très personnelles et parfois très éloignées des précédentes. Or, il nous semble que l'analyse modulaire des systèmes ne détaille pas suffisamment pour notre démarche la chaîne de motivations qui permet à un système de niveau supérieur d'orienter le comportement des sous-systèmes qui le composent. En effet, cette modélisation donne une représentation détaillée des comportements issus de la réalisation de programmes imposés (appelés ici directives), ce qui correspond à une représentation selon le concept de téléonomie, mais ne décrit pas selon le concept de téléologie⁴⁶ la façon dont les processus de décision et d'action sont tirés par des causes finales à travers les objectifs qui sont désignés aux acteurs. Il nous manque en particulier la formalisation d'un réseau d'indicateurs de performances, non seulement comme mesure, mais également comme objet complexe, association d'une mesure d'efficacité, d'un objectif et de variables d'action⁴⁷. Elle n'intègre pas non plus les objectifs propres des acteurs (par opposition aux objectifs issus des niveaux supérieurs) comme explication de leur comportement à l'intérieur de leur latitude décisionnelle. Nous devons donc enrichir pour notre étude la représentation des phénomènes d'orientation de comportement, par une modélisation plus détaillée des rationalités des acteurs ainsi que des objectifs et des indicateurs de performance qui leur sont donnés et qui motivent leurs décisions et leurs actions. Cela permettra en particulier de faire apparaître l'évaluation dans sa dimension dynamique, comme processus multi-niveau, multi-critère et multi-acteur, relayé auprès de chaque acteur par des indicateurs de processus, c'est-à-dire par un ensemble d'informations rendues visibles selon une décomposition spatiale et temporelle et qui oriente les décisions.

En second lieu, il nous semble que l'analyse modulaire des systèmes reste relativement ancrée dans le paradigme cybernétique. En effet, J. Mélése précise bien que les processus décisionnels locaux représentés par le symbole \sim correspondent à une mission de régulation, ou encore de réglage local, vis-à-vis du module technologique. Les possibilités issues de la latitude décisionnelle d'un acteur sont donc utilisées ici pour ajuster localement les paramètres de fonctionnement du module technologique piloté. Nous retrouvons le concept de régulateur ultra-stable de R. Ashby⁴⁸, dans lequel une unité de contrôle (ici le module de pilotage) agit sur les paramètres d'un régulateur pour améliorer son efficacité. Or nous avons indiqué que le développement de l'autonomie vis-à-vis de la commande traduit non seulement une recherche d'efficacité statique de production qui renvoie à la sphère de

⁴⁶ Selon la distinction donnée par H. Atlan. Cf. Chapitre 4, section 1, 2.1.

⁴⁷ Selon la définition de P. M. Gallois. Cf. Chapitre 4, section 1, 2.1.

⁴⁸ Cf. Chapitre 1, section 3, 1.2.

valorisation des ressources existantes, mais également une dynamique d'innovation associée à la sphère de création de ressources nouvelles. Dans un modèle, l'introduction du concept d'autonomie ne prend donc tout son sens qu'à la condition que soient également représentées les démarches cognitives d'apprentissage et de créativité. Pour notre étude, cela signifie que nous devons enrichir le langage de modélisation avec des concepts de représentation de la connaissance et avec des processus dynamiques d'apprentissage modifiant les bases de connaissances.

Enfin, et à la différence de l'approche cybernétique qui recherche la stabilité interne d'un système, nous avons vu qu'une certaine dynamique était indispensable à l'établissement d'un processus permanent de créativité, à travers l'action productive des composants du système. Aussi, et à l'opposé de l'approche cybernétique du traitement de l'information, qui considérait le bruit comme un élément perturbateur, nous avons vu à travers les travaux de H. Atlan qu'une certaine quantité d'indétermination était en pratique toujours présente, et même indispensable au fonctionnement d'une organisation, et que la faculté d'intégrer des perturbations dynamisantes donnait à un système la capacité de s'adapter continuellement à des situations nouvelles, au lieu de se figer définitivement dans un état particulier. Et pour qu'un bruit perturbateur ne soit pas considéré comme un facteur de désorganisation, pour qu'il participe effectivement à enrichir la quantité d'informations du système, il faut qu'il apparaisse non pas au milieu d'une séquence d'instructions préétablie et figée (allonomie forte), mais dans un contexte d'autonomie. C'est pourquoi, la vision positive du bruit en terme de créativité nous incite encore à développer la représentation des phénomènes cognitifs d'adaptation en rapport avec le degré d'autonomie des acteurs. Elle nous incite également à développer une représentation collective des interactions créatrices entre les différents acteurs. Ce faisant, nous nous rapprochons du connexionnisme, qui considère la cognition comme l'émergence d'états globaux dans un réseau de composants, et qui analyse l'interconnexion d'éléments actifs ayant un comportement propre, et d'où émergera globalement et spontanément une solution satisfaisante à un problème donné. Nous retrouvons également le besoin de rencontres informationnelles entre les acteurs d'un système organisé intelligent et le monde extérieur, qui donnent naissance aux processus de créativité permanente de la théorie de l'énaction. Notons toutefois que la faculté de poser les questions pertinentes qui surgissent à chaque étape d'un problème, et qui caractérise l'énaction, renvoie non plus au modèle seul, mais au couple formé par le modèle et son observateur. La formulation des problèmes qu'il s'avérera pertinent de résoudre reste encore une capacité humaine, pour laquelle la modélisation apporte une aide comme représentation orientée et partagée de l'information.

Le cadre d'observation donné par l'analyse modulaire des systèmes apparaît donc utile pour notre démarche, et nous utiliserons certains éléments de son formalisme pour construire notre modèle de représentation. Il apparaît toutefois trop ancré dans l'approche cybernétique, et est à ce titre insuffisant pour représenter les problématiques actuelles des entreprises industrielles. C'est pourquoi nous allons maintenant présenter des concepts nouveaux de représentation qui permettent de mieux décrire les déterminants cognitifs de la performance des organisations productives.

SECTION 2 : LES BASES D'UNE NOUVELLE MODELISATION

Pour évoluer depuis la vision cybernétique de l'analyse modulaire des systèmes vers une vision plus cognitive, nous allons dans un premier temps détailler la représentation des phénomènes d'orientation de comportement, par une modélisation plus détaillée des rationalités qui motivent les décisions et les actions des acteurs. Pour cela, nous utiliserons l'approche de J. van Gigch, et sa description méta-systémique des organisations. Nous retrouverons dans cette description l'interprétation de la hiérarchie comme emboîtement en niveaux successifs d'intégration de machines autonomes au sens de F. Varela, ce qui nous permettra de développer également la notion d'autonomie dans le modèle.

Dans un second temps, nous aborderons les travaux menés en intelligence artificielle, et plus particulièrement en intelligence artificielle distribuée, pour avancer dans la formalisation des connaissances et des mécanismes de prise de décision par coopération entre constituants intelligents d'une organisation.

1. Formalisation d'une représentation méta-systémique

1.1 Vers des structures de décision par méta-niveaux

La préférence que nous avons exprimée au chapitre précédent pour des représentations construites par systèmes emboîtés, au lieu de modèles hiérarchiques linéaires et pyramidaux⁴⁹, nous amène à présenter le modèle de prise de décision élaboré par J. P. van Gigch. Cet auteur décrit en effet la structure de prise de décision d'une organisation selon une approche méta-systémique et par une hiérarchie de systèmes de contrôle. Pour cela, il définit au départ un élément de base, appelé modèle général de système de contrôle, et constitué par l'association entre un contrôleur et un système contrôlé en contact avec l'environnement⁵⁰ :

⁴⁹ Cf. Chapitre 4, section 3, 1.1.

⁵⁰ J. P. van GIGCH : *System design modeling and metamodeling*, Plenum Press, 1991, p. 319.

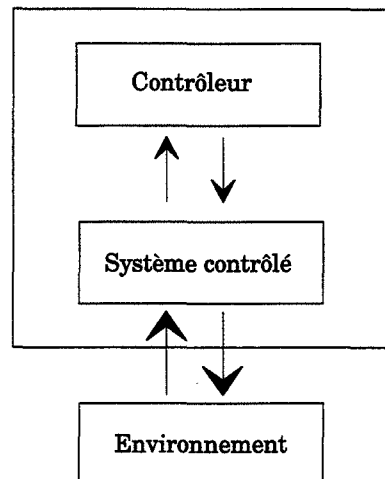


Schéma 29 : Modèle général de système de contrôle

Remarquons bien que dans cette représentation, le concept de contrôle renvoie à "toute forme d'influence appliquée par le contrôleur sur le système contrôlé"⁵¹. Il n'est donc pas restreint à la seule commande directe utilisée dans les modèles purement cybernétiques, et menant aux différentes configurations de régulation présentées dans le chapitre 1. Au contraire, le comportement du système contrôlé est ici *influencé*, et non simplement commandé, par les actions de contrôle du contrôleur. Pour bien préciser cette différence entre commande directe et influence, nous utilisons l'analyse de P. Lorino qui compare selon le schéma suivant le contrôle et l'orientation⁵² :

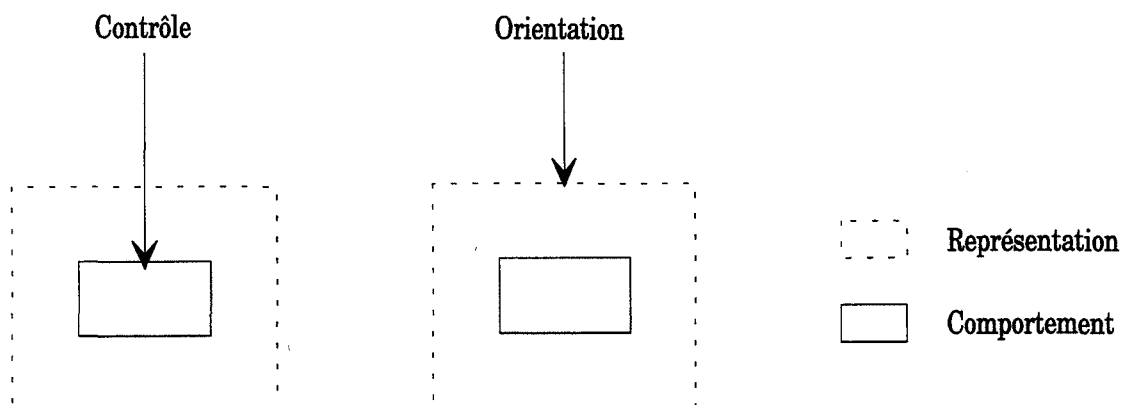


Schéma 30 : Concepts de contrôle et d'orientation

⁵¹ *Idem*, p. 318 : "any forme of directed influence".

⁵² P. LORINO : *L'économiste et le manager*, Editions La Découverte, 1991, p. 131.

Dans un cas le contrôle s'effectue directement sur le comportement du système ou de l'acteur sous forme d'une déclinaison linéaire d'ordres, tandis que dans l'autre l'orientation s'arrête au modèle de représentation et autorise l'autonomie. Dans ce second cas, le système de contrôle (au sens large) exerce alors son action sur le système de représentation, et influence les comportements en déterminant des objectifs (au lieu de décliner des ordres) et en rendant visibles les informations par le biais d'indicateurs de performances⁵³.

Pourtant, ce second modèle peut sembler insuffisant vis-à-vis du besoin d'efficacité statique de production, et P. Lorino propose dans une version ultérieure⁵⁴ d'utiliser le terme de pilotage comme compromis entre le contrôle et l'orientation. Il introduit à ce propos le concept d'*interprétation*. L'autonomie laissée au système s'exprime alors par la mise en oeuvre de phénomènes cognitifs qui interprètent les informations reçues. Le pilotage s'adresse ainsi à une fonction d'interprétation qui détermine à son tour l'activité :

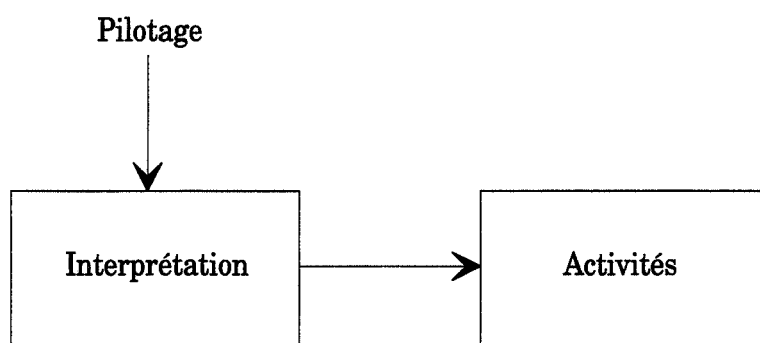


Schéma 31 : Pilotage d'activités par interprétation d'informations

Cette vision, qui dépasse largement les modèles de commande, correspond bien à l'évolution que nous avons décrite au sein des organisations productives. Ainsi, dans le cadre du nouveau contexte industriel, il ne s'agit plus de modéliser les comportements pour les contrôler mais de chercher un système de représentation qui sera interprété individuellement et orientera les décisions vers des niveaux de performance collective

⁵³ Cf. Chapitre 4, section 1, 2.1.

⁵⁴ P. LORINO : *Comptes et Récits de la Performance : Essai sur le pilotage de l'entreprise*, Editions d'organisation, 1995, p. 43.

satisfaisants. J. P. van Gigch note d'ailleurs à ce propos que sa définition du contrôle comme "toute forme d'influence appliquée" intègre également le concept de finalité, car l'influence peut se concrétiser en particulier par la désignation d'objectifs.

Pourtant, nous avons vu que la désignation d'objectifs pour coordonner l'action dans un système complexe fonctionnait mal en raison de la multiplicité de points de vue souvent contradictoires, et que plus globalement la déclinaison hiérarchique d'objectifs du haut vers le bas pour assurer l'intégration des moyens manquait en fait de réactivité face aux exigences de l'environnement⁵⁵.

C'est pourquoi F. Heran propose de dépasser la notion d'objectif par le concept de *principe*⁵⁶. Pour lui, alors qu'un objectif désigne un but à atteindre à court ou moyen terme et conduisant à des résultats tangibles, un principe au contraire est atemporel et intangible, ne dépend pas du contexte et indique le sens et la raison d'être de l'action. A titre d'exemple, l'optimisation du coût de gestion des stocks, obtenue par la réalisation d'un compromis entre un coût de possession et un coût de commande, est un objectif, tandis que la recherche du zéro stock est un principe. Ce principe oriente en particulier les actions d'amélioration permanente dans les démarches de type juste-à-temps.

Ainsi, et comme le note F. Heran, "les principes ne remplacent pas les objectifs, ils les structurent"⁵⁷. L'application du concept de principe nous permet ainsi de poursuivre dans l'utilisation du modèle de contrôle tout en conservant pour le système "contrôlé" une autonomie compatible avec les besoins du nouveau contexte industriel.

Nous conservons donc l'analyse de J. P. van Gigch, qui construit au dessus du système de contrôle précédent un contrôleur de niveau supérieur qu'il nomme *méta-contrôleur* et qui peut s'articuler avec le niveau inférieur selon le schéma suivant⁵⁸ :

⁵⁵ Cf. Chapitre 3, section 2, 1.2.

⁵⁶ F. HERAN : "Outils de gestion et modes d'organisation", in *Gestion Industrielle et Mesure Economique - Ecosip*, Economica, 1990, p. 240.

⁵⁷ *Idem*.

⁵⁸ J. P. van GIGCH : *System design modeling and metamodeling*, op. cit., p. 322.

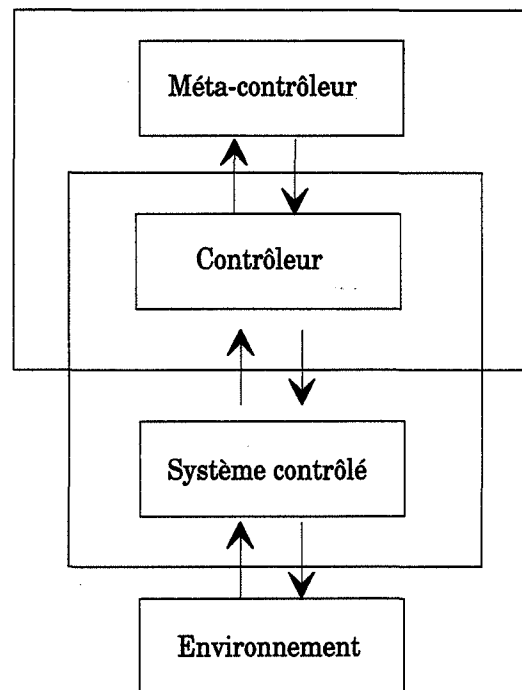


Schéma 32 : Systèmes de contrôle emboîtés en méta-niveaux

Dans cette configuration, le méta-contrôleur contrôle uniquement le contrôleur de niveau inférieur et constitue avec lui un méta-système de niveau supérieur. J. P. van Gigch note cependant qu'il existe d'autres types de configuration.

En particulier, une seconde possibilité est que le méta-contrôleur contrôle à la fois le contrôleur de niveau inférieur et le système contrôlé. Dans ce cas, le système contrôlé sera directement influencé par le méta-contrôleur et par le contrôleur, alors que dans le schéma précédent, l'influence du méta-contrôleur sur le système contrôlé s'appliquait indirectement via le contrôleur.

Une troisième possibilité est que le système de contrôle de premier niveau soit considéré comme un tout, et soit adressé globalement par le méta-contrôleur. Le méta-contrôleur s'adresse alors globalement au système de niveau inférieur, sans y distinguer les composants que sont le contrôleur et le système contrôlé ⁵⁹ :

⁵⁹ *Idem*, p 323.

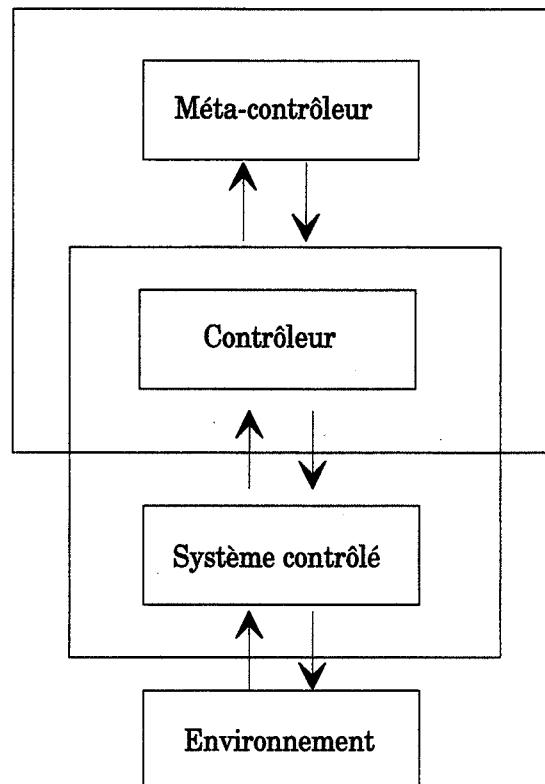


Schéma 33 : Méta-contrôleur pilotant un système contrôleur-système contrôlé

Notons enfin que ce modèle peut être étendu de façon réursive par l'ajout de niveaux supplémentaires qui correspondent à des niveaux d'organisation englobants. Il nous donne donc un cadre non limité de construction d'une représentation des organisations productives intégrant la notion de hiérarchie non pas dans un sens pyramidal traditionnel, mais comme emboîtement en niveaux successifs d'intégration.

Pour compléter la définition de notre cadre de construction, il nous reste cependant à montrer l'articulation inter-niveaux, c'est-à-dire à préciser les liens qui unissent en terme de rationalité deux niveaux successifs.

1.2 Organisation par niveaux et méta-rationalités

Nous avons vu que le passage d'un niveau hiérarchique d'intégration à un autre s'accompagnait d'une élévation en terme de logique qui permet d'acquérir la signification des événements qui se déroulent au niveau inférieur. Ce changement de registre est analysé en terme de rationalités par J. P. van Gigch qui distingue d'une part les rationalités intervenant

au niveau propre et d'autre part celles qui interviennent au méta-niveau. Pour cela, il modifie légèrement les définitions de H. Simon quant aux rationalités substantive et procédurale, et ajoute deux autres rationalités. Il estime ainsi que quatre types de rationalités coexistent simultanément au sein des structures décisionnelles⁶⁰ :

- *une rationalité structurelle* qui oriente la constitution de la structure de prise de décision. Elle se réfère à la question de savoir quel type de décision doit être prise, comment, quand et par qui.
- *une rationalité substantive* qui est constituée à partir d'un ensemble de connaissances appartenant à un paradigme⁶¹. Cette rationalité renvoie à la substance du savoir et permet de guider les actions. J. P. van Gigch cite comme exemple de rationalité substantive les règles juridiques, ou encore les connaissances techniques.
- *une rationalité procédurale* qui renvoie au problème du choix des procédures de prise de décision.
- *une rationalité évaluative* qui se réfère aux objectifs apparemment visés par les décideurs⁶², ainsi qu'aux critères d'évaluation des résultats.

En résumé et comme le note J. P. van Gigch, la rationalité structurelle renvoie à la structure, la rationalité substantive au contenu, la rationalité procédurale à la forme et la rationalité évaluative aux objectifs des décisions⁶³.

Notons au passage que la distinction entre objectifs visés et objectifs *apparemment* visés correspond encore une fois à la position de l'observateur et renvoie au choix entre la description autopoïétique et la description allopoïétique d'un système. J. P. van Gigch estime en fait que sa définition de la rationalité évaluative reste valable dans chacun des deux cas, c'est-à-dire que l'objectif existe réellement ou qu'il soit attribué par l'observateur au preneur de décisions pour décrire son comportement.

⁶⁰ *Idem*, p. 335.

⁶¹ "universe of discourse".

⁶² "goals toward which decision makers appear to strive".

⁶³ *Idem*, p. 335.

L'auteur affecte ensuite les quatre rationalités aux deux niveaux de l'élément de base d'un modèle de prise de décision. Pour cela, il traduit tout d'abord le modèle général de contrôle méta-systémique en un modèle de prise de décision. Dans ce modèle, le système contrôlé est appelé *système informant* et est défini comme "un processus ou une activité qui produit de la connaissance"⁶⁴, c'est-à-dire qui transforme des constats en décisions ainsi qu'en *méta-rationalités* destinées au niveau inférieur. Le contrôleur, qui oriente le système informant, prend le nom d'*épistémologie*⁶⁵ du *système informant*. Ce contrôleur est alimenté par des rationalités issues du niveau propre et par des méta-rationalités issues du niveau supérieur⁶⁶ :

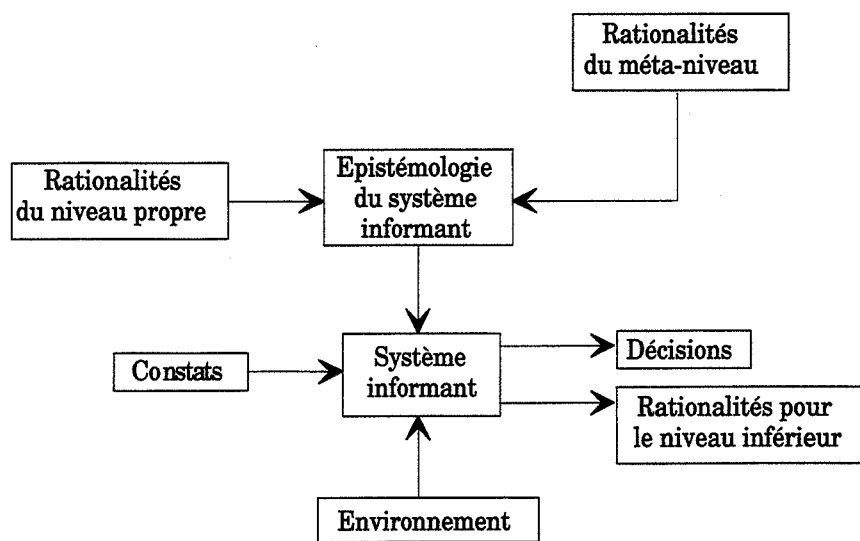


Schéma 34 : Modèle développé de contrôle par méta-rationalités

J. P. van Gigch indique que "les rationalités substantive et procédurale sont en général issues du niveau propre, tandis que les rationalités structurelle et évaluative proviennent du niveau supérieur"⁶⁷. Cette différence renvoie en particulier au changement de registre qui permet au niveau supérieur de donner un sens au comportement du niveau propre.

⁶⁴ "Inquiring system", J. P. van GIGCH : *System design modeling and metamodeling*, op. cit., p. 346.

⁶⁵ Le terme *épistémologie* doit être pris ici dans un sens anglo-saxon de rapport à la connaissance et non dans le sens usuel français d'histoire ou de philosophie des sciences.

⁶⁶ Schéma adapté de J. P. van Gigch, p. 346.

⁶⁷ *Idem*, p. 347.

Le modèle de prise de décision précédent peut ensuite être développé en une organisation multi-niveau, conformément à la structure réursive de son modèle général de contrôle. Le schéma suivant donne l'exemple d'un modèle de prise de décision méta-systémique à deux niveaux :

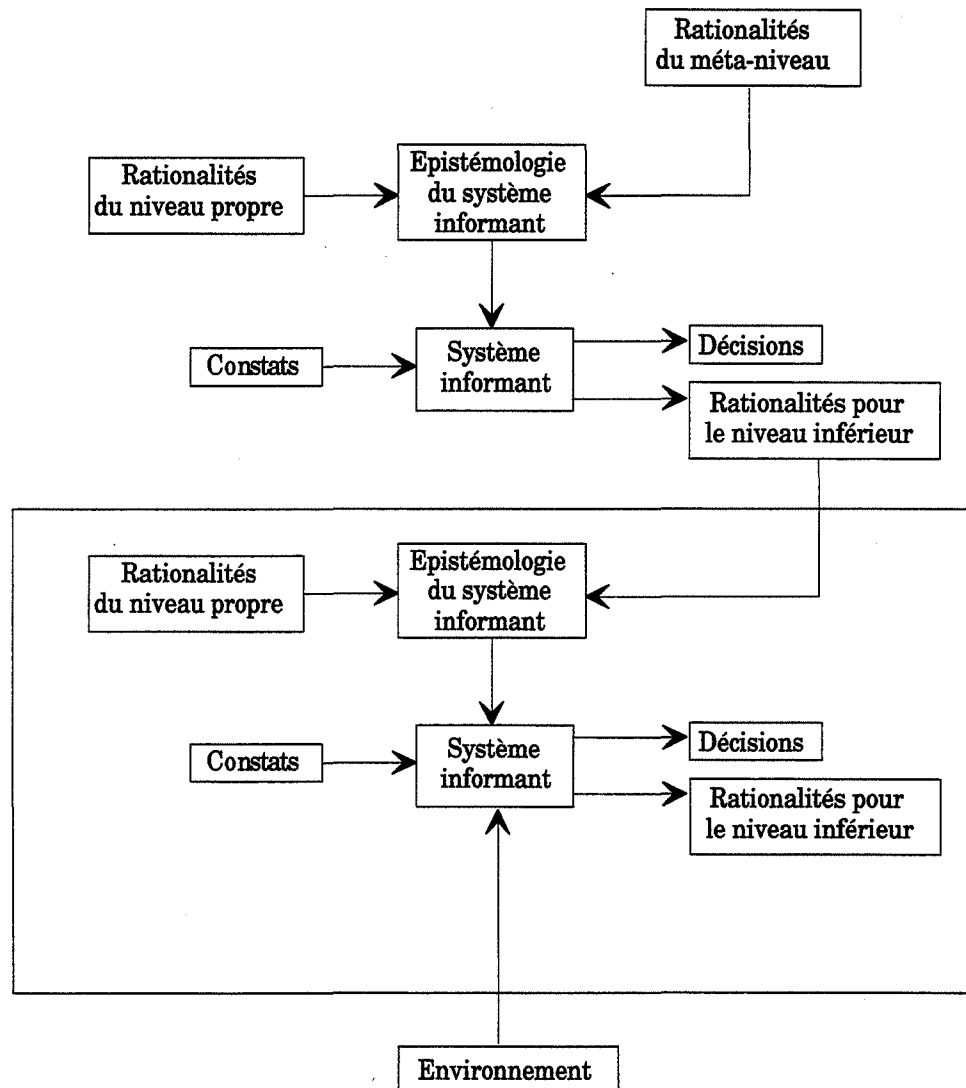


Schéma 35 : Modèle d'organisation multi-niveaux contrôlé par des méta-rationalités

J. P. van Gigch applique ensuite son modèle méta-systémique de prise de décision au cas d'une entreprise manufacturière. Il associe pour cela un système informant à chacun des trois niveaux traditionnels de la décomposition de R. Anthony, et détermine un domaine de discours pour chaque niveau : que fabriquer pour le niveau stratégique, comment fabriquer

pour le niveau tactique et quand fabriquer pour le niveau opérationnel. Au niveau stratégique se pose donc le problème du choix des produits, et ce choix est transmis au niveau tactique où sont prises par produit les décisions sur la façon de fabriquer et sur les programmes à respecter. Ces spécifications de fabrication et ces programmes sont ensuite transmis depuis le niveau tactique vers le niveau opérationnel où ils sont déclinés en décisions de production⁶⁸ :

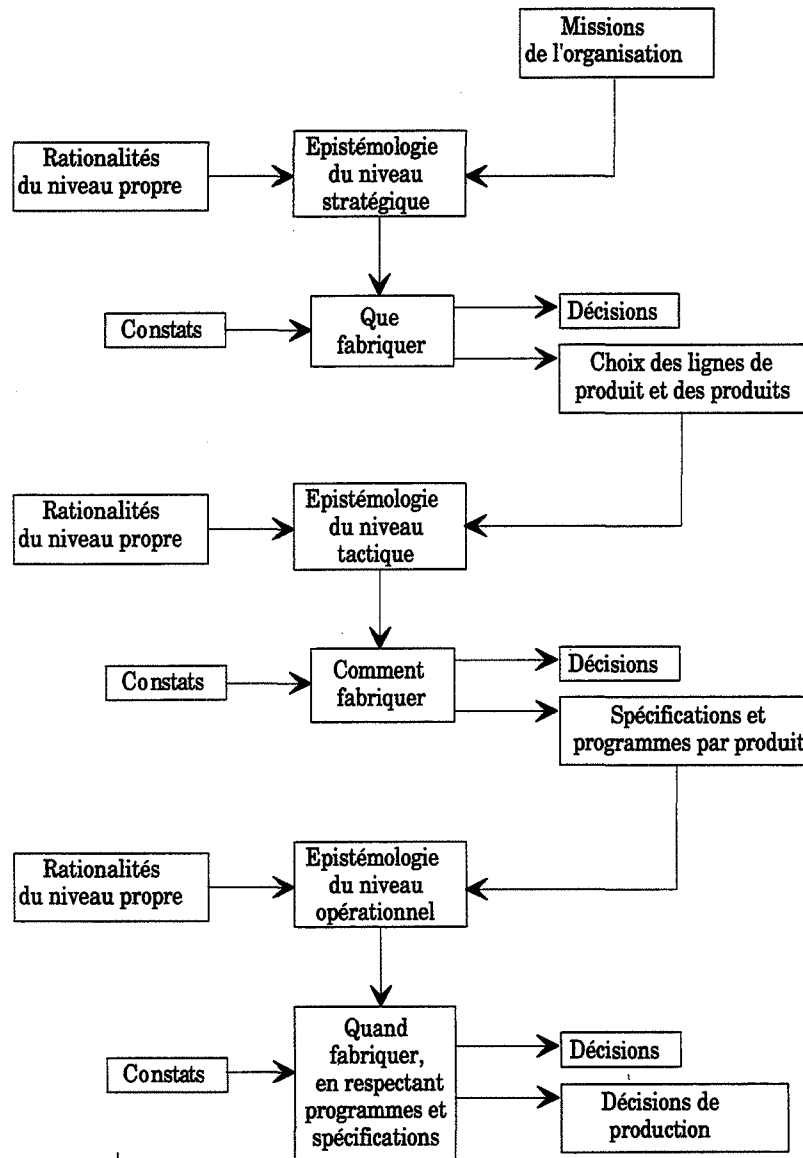


Schéma 36 : Application du modèle d'organisation multi-niveaux au cas d'une entreprise manufacturière

⁶⁸ *Idem*, p. 350.

Nous estimons cependant que cette interprétation nous ramène trop à la vision traditionnelle de la hiérarchie pour être pertinente dans le nouveau contexte industriel. En effet, dans le modèle proposé par J. P. van Gigch, le niveau opérationnel suit les modes opératoires décidés par le niveau tactique. Or dans un système de production flexible et intégré, les améliorations sur le flux de fabrication doivent émerger d'un processus de réflexion permanent qui se situe au niveau opérationnel. De la même façon, le modèle précédent subordonne le choix des produits à une décision de niveau stratégique, et le programme de fabrication à une décision de niveau tactique, alors qu'un système kanban, qui permet de déterminer quel produit fabriquer et quand le fabriquer, se déroule en pratique au niveau opérationnel. Aussi, et même s'il existe toujours des décisions à caractère stratégique et des décisions à caractère opérationnel dans les systèmes de production, nous pensons que le découpage retenu par J. P. van Gigch pour décliner son modèle de décision est mal adapté au contexte industriel actuel. En revanche, son approche méta-systémique générale des structures de décision, ainsi que sa décomposition des rationalités en quatre types issus pour partie du niveau propre et pour partie du niveau supérieur, nous paraissent adaptées pour décrire les différents niveaux d'intégration qui caractérisent les organisations productives et nous les utiliserons par la suite.

2. Les apports de l'approche multi-agents

Nous allons aborder les travaux menés en intelligence artificielle, en présentant les concepts principaux de l'intelligence artificielle distribuée, puis en détaillant plus particulièrement l'analyse en terme de système multi-agents, qui nous servira ensuite d'outil opérationnel pour la représentation des organisations productives.

2.1 L'intelligence artificielle distribuée

Alors que l'intelligence artificielle classique s'intéresse au comportement intelligent d'une seule entité en centralisant les connaissances, l'intelligence artificielle distribuée étudie le comportement collectif intelligent qui résulte de l'activité coopérative de plusieurs entités

sur lesquelles l'expertise est répartie. Les développements actuels de la recherche en intelligence artificielle distribuée concernent en particulier les points suivants⁶⁹ :

- la manière de diviser et de répartir un problème et la connaissance du problème sur un certain nombre d'entités distribuées et coopérantes de façon à en obtenir une solution,
- la manière de coordonner le comportement intelligent d'un ensemble d'entités selon des lois sociales, et de faire coopérer ces entités entre elles,
- l'étude de l'émergence de concepts nouveaux à partir du caractère collectif d'entités individuelles ayant un comportement autonome.

Les problématiques soulevées par les deux premiers points rejoignent clairement les problèmes de coordination et de coopération au sein des organisations productives. En particulier, on trouvera en intelligence artificielle distribuée les questions de la modélisation de la connaissance et de sa répartition sur différentes entités, qui renvoient au partage de la connaissance en entreprise, ainsi que les questions de la gestion des conflits, du comportement social au sein d'un groupe, et du maintien de la cohérence des décisions et des plans d'action entre le local et le global.

Le dernier point (étude de l'émergence de concepts nouveaux) fait référence à la possibilité d'apparition de fonctionnalités globales qui n'ont pas été explicitement programmées au niveau des entités, et qui résultent d'interactions entre deux ou plusieurs composants. De façon plus générale, la notion d'interaction entre entités autonomes est analysée par J. Ferber comme point de départ de ce qu'il désigne par la *kénétique*⁷⁰, science des organisations artificielles qui considère que "la structuration des systèmes complexes résulte de l'interaction entre entités relativement autonomes et indépendantes, (...) qui travaillent au sein de communautés selon des modes parfois complexes de coopération, conflit, concurrence pour survivre et se perpétuer"⁷¹. Cette démarche reconnaît en particulier l'importance des actions individuelles qui concourent à l'élaboration de la structure d'une organisation. Dépassant l'approche que nous avons identifiée sous le terme

⁶⁹ S. LABIDI et W. LEJOUAD : "De l'intelligence artificielle distribuée aux systèmes multi-agents" in *Rapport de recherche n° 2004*, INRIA, août 1993, p. 3.

⁷⁰ A partir du terme grec *koïnon* : ce qui est commun.

⁷¹ J. FERBER : "La Kénétique : des systèmes multi-agents à une science de l'interaction" in *Revue internationale de systémique*, août 1994.

de cybernétique (que J. Ferber associe aux débuts de la systémique⁷²), et qui s'intéressait à la régulation et aux transferts de flux, la kénétique rejoint en réalité le courant de E. Morin, F. Varela ou H. Atlan, et s'attache à l'étude de phénomènes émergents, ce qui renvoie en particulier aux phénomènes autopoïétique et à la structuration par le bruit. Elle rejoint ainsi l'approche méta-systémique et la construction hiérarchique progressive d'une organisation en niveaux d'intégration à partir des caractéristiques de ses constituants.

C'est pourquoi nous utiliserons dans notre représentation des organisations productives certains outils de l'intelligence artificielle, et en particulier le concept de système multi-agents, que nous allons à présent détailler.

2.2 Les systèmes multi-agents

La distribution des problèmes à traiter et la répartition de la connaissance, en réponse aux limites inhérentes au caractère centralisé des modèles en intelligence artificielle classique, se sont d'abord exprimées, en intelligence artificielle distribuée, par le concept *d'acteur*. Un acteur est une entité active et autonome qui connaît un certain nombre d'autres acteurs, appelés ses *accointances*, et qui suit un comportement propre défini par un ensemble de procédures appelé *script*⁷³. L'activité d'un acteur consiste à recevoir des messages émis par les acteurs qui l'entourent, et à élaborer des réponses à partir des méthodes décrites dans son script et qui caractérisent son comportement propre. En plus de ses méthodes propres, un acteur détient des informations locales qui orientent également sa conduite, et la rendent à priori différente de celle des autres acteurs. Par cette autonomie et par l'indépendance de chaque acteur au sein de la collectivité d'acteurs, le système présente finalement une distribution à la fois des connaissances et des méthodes utilisées pour la résolution d'un problème. Notons enfin que dans un tel système, certains acteurs peuvent déléguer auprès d'autres acteurs des messages auxquels ils ne peuvent pas répondre eux-mêmes. La capacité à résoudre un problème passe donc clairement par la mobilisation collective de l'ensemble des entités qui constituent le système. Nous trouvons donc ici dans le concept de système multi-acteurs, une façon de modéliser la construction collective d'une solution à un problème posé, grâce à la coopération d'actions entre entités intelligentes.

⁷² Il inclut dans ce mouvement L. Bertalanffy, N. Wiener, J. Forrester et les premiers travaux de J. L. Lemoigne.

⁷³ Cf. S. LABIDI et W. LEJOUAD : "De l'intelligence artificielle distribuée aux systèmes multi-agents", *op. cit.*, p. 6.

Le concept d'acteur a cependant été étendu de façon à développer encore davantage la coopération entre les entités du système. En effet, pour que la coopération soit effective, il faut que les composants soient capables de raisonner sur les connaissances et sur les capacités des autres, et soient donc dotés dans ce but de capacités de perception sur leur environnement⁷⁴. Cette extension vers des aptitudes de plus haut niveau a mené à la définition du concept *d'agent*⁷⁵.

Un agent est "une entité physique ou virtuelle qui est capable d'agir sur elle-même et sur son environnement, qui est capable de percevoir son environnement, mais ne dispose que d'une représentation partielle de cet environnement (et parfois aucune), qui peut communiquer avec d'autres agents, qui poursuit un objectif individuel, qui possède des compétences et peut éventuellement se reproduire et dont le comportement est la conséquence de ses objectifs, de sa perception, de ses représentations, de ses compétences et des communications qu'il peut avoir avec d'autres agents"⁷⁶.

Nous notons que par rapport aux acteurs, et outre leurs capacités de perception, les agents ont la capacité d'agir sur l'environnement, et pas seulement de raisonner. L'action est ici un concept fondamental qui permet à un agent de modifier son environnement, et par là d'intervenir sur les prises de décision futures des agents qui l'entourent. Cette approche répond davantage aux nouvelles formes de l'évaluation économique que nous avons décrites, pour lesquelles un mouvement fondé sur l'action organisatrice collective se substitue à un outil de mesure passif⁷⁷.

Nous avons d'autre part indiqué que la mobilisation collective de groupe comme moyen coopératif de résoudre les problèmes et d'introduire les améliorations, ainsi que le développement d'une autonomie créatrice de décisions et d'actions au plus près du flux de production posait le problème du rapport entre l'individuel et le collectif, c'est-à-dire de l'écart entre l'intérêt propre et l'intérêt du groupe⁷⁸. Cette problématique est également abordée dans les modèles d'agents par le fait que ceux-ci possèdent deux tendances : une

⁷⁴ *Idem*, p. 8.

⁷⁵ Nous remarquons cependant que la distinction entre acteur et agent varie selon les auteurs et que la terminologie dans ce domaine n'est pas établie.

⁷⁶ J. FERBER : "La Kénétique : des systèmes multi-agents à une science de l'interaction", *op. cit.*, p. 16.

⁷⁷ Cf. Chapitre 4, section 1, 1.1.

⁷⁸ Cf. Chapitre 4, section 1, 2.1.

tendance sociale tournée vers la collectivité (mécanismes et connaissances concernant les activités du groupe) et une tendance individuelle (mécanismes et connaissances conditionnant le fonctionnement interne)⁷⁹, leur comportement étant issu d'une synthèse entre ces deux tendances.

Plus généralement, un agent est caractérisé par⁸⁰ :

- des intentionnalités : volontés d'atteindre des buts ou d'effectuer des actions,
- des rationalités : critères de prise de décision dans le sens des intentionnalités,
- l'engagement de collaborer avec d'autres agents pour atteindre ses buts,
- une adaptativité : capacité de contrôler son comportement selon les agents adressés.

De plus, une distinction est réalisée entre agents *réactifs* et agents *cognitifs*, correspondant à deux écoles de pensées différentes⁸¹. Un agent réactif possède un comportement défini par un ensemble de mécanismes simples de réactions aux événements, associé à des connaissances routinières s'exprimant par des actions automatiques. La coopération d'un grand nombre d'agents réactifs permet alors de faire émerger un comportement intelligent, sans que chaque composant soit individuellement intelligent. Un agent cognitif dispose au contraire de connaissances de plus haut niveau, et possède individuellement des capacités de raisonnement plus élaborées. Un système d'agents cognitifs comprendra alors un petit nombre d'agents disposant chacun d'une capacité de raisonnement sur des bases de connaissances, chaque agent étant assimilable à un système expert à la fois autonome et coopératif. Les comportements des systèmes d'agents cognitifs sont plus proches des problématiques de coopération au sein de groupes d'individus, et nous favoriserons cette approche pour la suite.

L'association de plusieurs agents, qui mène au concept de système multi-agents, pose également des problèmes de structure organisationnelle. Il existe en pratique deux types d'architecture pour les sociétés d'agents⁸² : les structures horizontales, dans lesquelles tous les agents sont au même niveau, et les structures verticales, où les agents sont hiérarchisés. Dans les structures verticales, un agent de niveau inférieur peut être relié par des liens

⁷⁹ Cf. S. LABIDI et W. LEJOUAD : "De l'intelligence artificielle distribuée aux systèmes multi-agents", *op. cit.*, p. 8.

⁸⁰ *Idem*, p. 10.

⁸¹ J. FERBER : "La Kénétique : des systèmes multi-agents à une science de l'interaction", *op. cit.*, p. 21.

⁸² S. LABIDI et W. LEJOUAD : "De l'intelligence artificielle distribuée aux systèmes multi-agents", *op. cit.*, p. 17.

hiérarchiques de contrôle avec un agent de niveau supérieur qui délègue des tâches aux agents qui lui sont subordonnés selon un objectif de répartition du problème à résoudre. L'agent de niveau supérieur agit alors comme un contrôleur qui assure la coordination des agents. Il possède en particulier des connaissances sur les connaissances des agents inférieurs, c'est-à-dire des métaconnaissances, et cet emboîtement nous renvoie ainsi à l'approche méta-systémique et à la construction d'une organisation par emboîtement successifs en méta-niveaux.

Le concept de système multi-agents nous semble donc un outil approprié pour modéliser et observer le comportement d'une organisation productive, notamment par son caractère méta-systémique et par l'importance qu'il accorde à l'autonomie des entités constituantes. Nous allons en conséquence l'utiliser pour formaliser à présent un modèle de représentation générique d'organisation productive.

SECTION 3 : MODELE DE REPRESENTATION DES ORGANISATIONS PRODUCTIVES

Nous allons présenter un formalisme nouveau de description des organisations productives. Il sera fondé sur les concepts que nous avons identifiés au cours de notre démarche comme pertinents pour rendre compte du mouvement des entreprises industrielles vers la flexibilité et vers l'intégration, en réponse au nouveau contexte économique.

Notre représentation de l'entreprise-compétences se situera fondamentalement dans le paradigme méta-systémique, sera centrée sur les phénomènes cognitifs, et ne dissociera pas les sous-systèmes informationnel, décisionnel et physique, qu'elle présentera à la fois répartis et intégrés.

1. La structure de base du modèle

Nous allons en premier lieu définir deux modules élémentaires que nous utiliserons de façon récurrente lors de la construction progressive de notre modèle. Nous montrerons ensuite comment ces modules s'associent pour former une structure organisationnelle de premier niveau.

1.1 Définition des modules élémentaires

Partant de l'idée selon laquelle une activité technique ou administrative peut être décomposée en un module de pilotage et un module technologique⁸³, nous allons définir une structure de base formée par le couplage d'un module que nous nommerons *Agent Cognitif* (AC) et d'un module que nous nommerons *Centre d'Activités* (CA) :

⁸³ Nous nous inspirons ici du formalisme de l'analyse modulaire des systèmes.

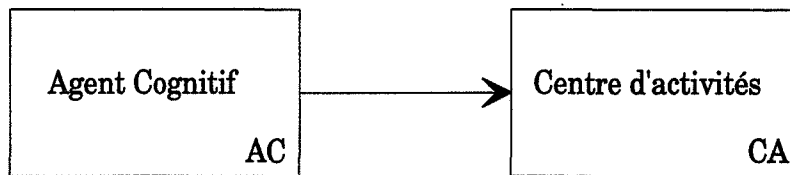


Schéma 37 : Module élémentaire du modèle de représentation

Centre d'activités

Un centre d'activités regroupe un ensemble de tâches élémentaires réalisées par un individu ou par un groupe, faisant appel à un savoir spécifique et fournissant un extrant (une pièce fraisée, la qualification d'un fournisseur, un budget, ...) à partir d'intrants (travail, machines, informations, ...)⁸⁴. Un centre d'activités transforme donc, par une ou plusieurs actions, un flux physique ou un flux d'informations.

Le flux dont la transformation correspond à la mission première du centre d'activités sera nommé flux principal. Il peut être complété par des entrées secondaires de nature physique (outillages, énergie, ...) ou informationnelles (gammes, ...), nécessaires à l'activité de transformation. Il peut également produire des sorties secondaires physiques (rebuts, déchets, ...) ou informationnelles (documents validés, ...).

Les tâches regroupées dans un même centre d'activités sont de plus orientées vers un client interne ou externe, et préférentiellement homogènes du point de vue des coûts et des performances, pour pouvoir faire l'objet de mesures globales pertinentes. Ces tâches consommeront en effet des ressources, qui pourront être partagées entre plusieurs centres d'activités, et qui induiront des coûts d'utilisation. Le schéma suivant récapitule les liens entre un centre d'activités et son environnement :

⁸⁴ Nous utilisons donc la définition de l'activité de P. Lorino. Cf. Chapitre 4, section 3, 2.1.

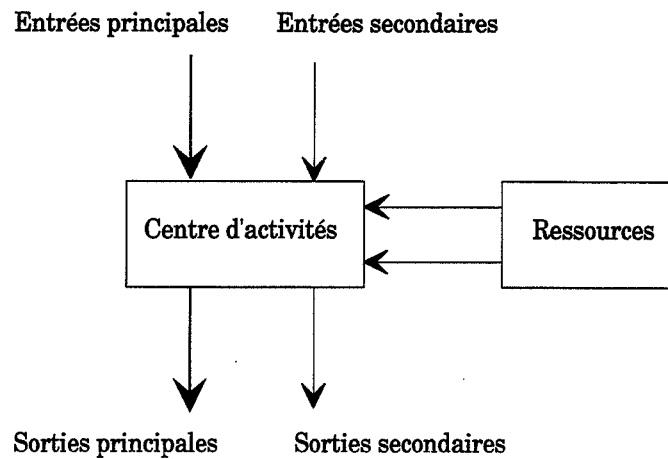


Schéma 38 : Modèle développé d'un centre d'activités

Agent cognitif

Dans notre modèle, un agent cognitif est un module de décision qui oriente l'action d'un centre d'activités. Il possède des intentions propres qui vont intervenir dans son comportement, un espace de connaissances, et un système inférent qui construit des décisions s'appliquant au centre d'activités, à partir de rationalités de niveau supérieur, de ses intentions propres et de ses connaissances. Sa structure interne est détaillée dans le schéma suivant :

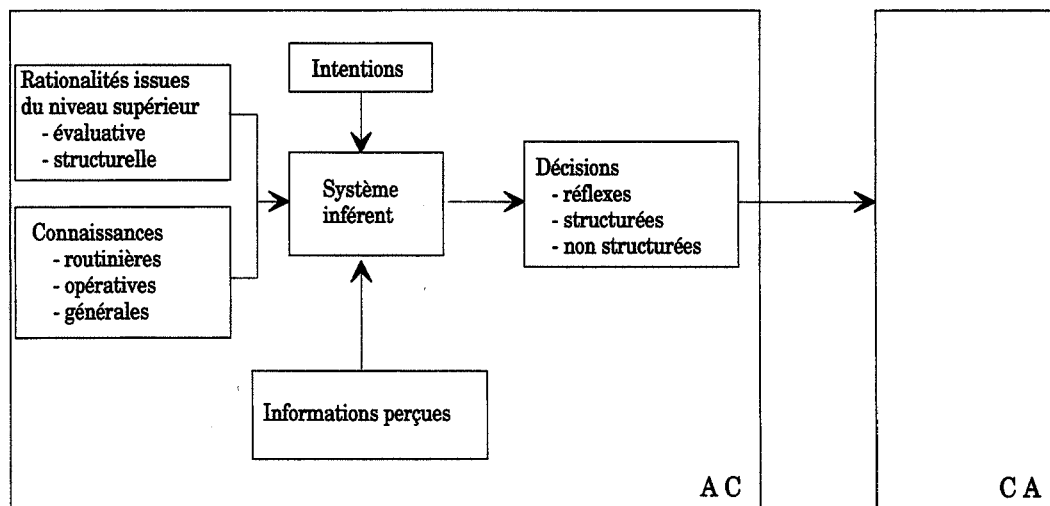


Schéma 39 : Modèle développé d'un agent cognitif

Nous allons successivement décrire les six éléments qui composent ici un agent cognitif.

Rationalités

Des quatre rationalités du modèle méta-systémique de J. P. van Gigch, nous ne conservons que les rationalités structurelle et évaluative qui sont de méta-niveau et qui renvoient à la structure de la prise de décision et aux objectifs des décisions. Nous avons déjà indiqué que la rationalité substantive, qui renvoie aux savoirs et aux connaissances, ainsi que la rationalité procédurale, qui pose la question du choix des procédures de décisions, étaient de niveau propre⁸⁵. En fait, nous pensons même que les rationalités substantive et procédurale, au sens de J. P. van Gigch, doivent être réparties entre l'espace de connaissances et le système inférent de l'agent cognitif. En effet, les rationalités substantive et procédurale sont construites à partir de connaissances qui guident les actions (règles juridiques, savoirs techniques, ...), et qui permettent la sélection des procédures de décision. Aussi, plutôt que de modéliser isolément ces deux rationalités, nous préférons représenter les connaissances qui leur sont nécessaires dans l'espace de connaissances de l'agent cognitif, et intégrer leurs principes dans le fonctionnement du système inférent. Les rationalités spécifiquement représentées dans notre modèle sont donc les rationalités évaluative et structurelle que l'agent cognitif recevra depuis un méta-niveau, pour évaluer et structurer sa prise de décision.

Connaissances

Les connaissances sont structurées en trois niveaux selon la classification issue des travaux de J. Rasmussen⁸⁶ : les connaissances routinières qui se manifestent par des actions automatiques en contexte de situations répétitives, les connaissances opératives qui sont utilisées en contexte de faibles variations à l'intérieur d'un domaine connu, et les connaissances générales utilisées dans le cadre de situations nouvelles ou exceptionnelles. Ces connaissances seront utilisées en fonctionnement courant par le système inférent pour générer les décisions s'appliquant au centre d'activités, et pourront également être modifiées dans le cadre d'un processus d'apprentissage.

⁸⁵ Cf. *supra*, p. 268.

⁸⁶ Cf. Chapitre 4, section 2, 1.2.

Informations perçues

Les informations perçues par l'agent cognitif proviennent soit du centre d'activités, soit d'autres agents, soit d'un environnement extérieur au système. Ces informations ne correspondent pas nécessairement à des réalités objectives. En provenance du centre d'activités, il peut s'agir d'une mesure sur le flux de production, ou du résultat d'un calcul effectué par un système d'indicateurs de performances. Les informations reçues depuis les autres agents correspondent aux messages échangés dans le cadre de la coopération sociale qui caractérise un système multi-agents. Ces messages sont interprétés en fonction des croyances (connaissances non objectives) que chaque agent possède sur lui-même et sur les autres. Quant aux informations en provenance du monde extérieur, elles sont altérées et bruitées, et également perçues et interprétées différemment par chaque agent. Enfin, nous ne représentons pas spécifiquement le sous-système d'information de manière isolée et monolithique, parce que nous ne construisons pas un modèle destiné à structurer des applications informatiques, et parce que nous estimons que la représentation de l'entreprise-compétences doit être centrée sur les connaissances, c'est-à-dire sur les structures donnant du sens à l'information perçue, plutôt que sur les informations elles-mêmes. Les agents cognitifs perçoivent et interprètent donc l'information disponible autour d'eux, et sont dans ce sens immergés dans un bain informationnel à partir duquel ils se construisent une vision propre de leur environnement.

Intentions

La présence d'intentions traduit le fait que, contrairement à l'hypothèse néoclassique, notre modèle accepte que les décisions portent la marque de celui qui la prend. Des critères individuels, éventuellement incompatibles avec les rationalités évaluatives en provenance du méta-niveau, peuvent ainsi modifier le processus de prise de décision. Ces intentions permettent de représenter d'éventuels comportements individuels qui écarteraient de l'intérêt général le comportement local d'un centre d'activités, amenant ainsi une source de dysfonctionnement pour l'ensemble du système. Notons également que dans le cas d'un centre d'activités regroupant un ensemble de tâches réalisées en collaboration par plusieurs personnes, nous représenterons des intentions à caractère collectif. En revanche, si à l'extrême l'organisation est fortement hiérarchisée, et si les personnes réalisant les activités sont subordonnées et soumises à l'autorité d'un chef d'atelier, ce sont les intentions individuelles du chef d'atelier qui orienteront le fonctionnement du système inférent, et que nous représenterons donc comme intentions de l'agent cognitif.

Système inférent

Le système inférent a pour fonction d'exprimer des décisions d'action à partir de l'espace de connaissances, des rationalités données par le niveau supérieur, des intentions propres de l'agent, et d'informations externes. Il utilisera particulièrement les connaissances routinières et les connaissances opératives pour exécuter des procédures prédéfinies de résolution de problèmes, et des connaissances générales de haut niveau lors de processus de recherche de solutions nouvelles.

Décisions

Les décisions exprimées en sortie du système inférent permettent d'activer sélectivement les actions possibles du centre d'activités. Elle sont classifiées par méthodes en décisions réflexes, décisions structurées et décisions non-structurées⁸⁷, mais non par niveaux (stratégique, tactique, opérationnel), car cela renverrait à une vision déjà trop linéaire de la hiérarchie. Les décisions réflexes sont émises par le système inférent lorsqu'il reconnaît une situation déjà répertoriée, composée d'intentions habituelles, d'informations répétitives, et de rationalités stables et connues. Il utilise alors des connaissances essentiellement routinières pour construire une décision réflexe selon une procédure algorithmique comparable aux règles de production de l'intelligence artificielle. En revanche, lorsque la situation est perçue nouvelle, inhabituelle, ou encore que les informations sont incomplètes, le système inférent ne peut plus utiliser ses connaissances routinières et doit se déplacer vers les connaissances opératives, ou vers les connaissances générales si le problème est éloigné du domaine de compétences usuel.

Enfin, nous précisons bien qu'un agent cognitif ne constitue pas la représentation d'un individu particulier de l'organisation. En effet, d'une part les tâches élémentaires d'un centre d'activités peuvent être réalisées par plusieurs personnes (ou de façon générale par plusieurs ressources) simultanément, et d'autre part une même personne peut partager son activité entre plusieurs centres. Il n'y a donc pas a priori de relation d'équivalence entre les agents cognitifs et chaque membre de l'organisation.

⁸⁷ Selon la classification de H. Simon, précisée par G. Gory et M. Scott Morton, Cf. Chapitre 1, section 3, 2.1.

1.2 Les chaînes de modules

Le module de base défini par l'association d'un agent cognitif et d'un centre d'activités est ensuite utilisé pour décrire l'enchaînement des activités de transformation du flux principal. Par la composition de modules en parallèle et en série, nous pouvons ainsi construire un modèle qui détaille les chaînes d'activités de l'entreprise.

Nous obtenons alors une représentation de la firme à travers les activités concrètes issues des tâches élémentaires rassemblées dans chaque centre d'activités. Cette représentation, qui se positionne bien comme une alternative aux modèles fondés sur les facteurs de production, est centrée sur les activités consommant des ressources et concourant à la réalisation d'un ajout de valeur, c'est-à-dire alimentant les avantages concurrentiels de M. Porter (rationalisation des coûts et différenciation des produits-services)⁸⁸.

Au lieu de décrire une entreprise de façon fonctionnelle, par exemple à travers un organigramme ou à travers la liste des services et des fonctions, nous décrivons donc une organisation productive par les suites d'activités qui engendrent de la valeur. Notons que les chaînes de valeur que nous représenterons ne doivent pas se résumer aux activités de fabrication, mais doivent s'étendre également aux autres processus courants de l'organisation : le développement d'un nouveau produit depuis le concept jusqu'à l'industrialisation, la démarche commerciale depuis le prospect jusqu'à la prise de commande, ou encore le traitement administratif d'une commande depuis la prise de commande jusqu'au règlement.

Les activités seront ainsi regroupées en un même processus lorsqu'elles seront physiquement liées dans la réalité par un flux de produit ou d'informations qui transitent entre elles. Dans le cadre de notre étude, et de son centrage sur les systèmes de production, nous attacherons naturellement une attention particulière à l'analyse et à la représentation des activités liées à la chaîne de fabrication des produits, notamment parce que nous avons indiqué l'importance que nous attachions à la compréhension des phénomènes liés au flux physique de production pour expliquer une part de la performance globale des entreprises industrielles. Par ce modèle, nous obtiendrons donc en particulier un outil de représentation de l'activité déployée autour du flux principal de production, qui nous permettra d'analyser les effets de l'actuel rapprochement entre flux physique et structure décisionnelle.

⁸⁸ Cf. Chapitre 4, section 3, 2.1.

De façon générique, les modules composés d'un agent cognitif et d'un centre d'activités se composent donc comme dans l'exemple suivant pour former une chaîne d'activités :

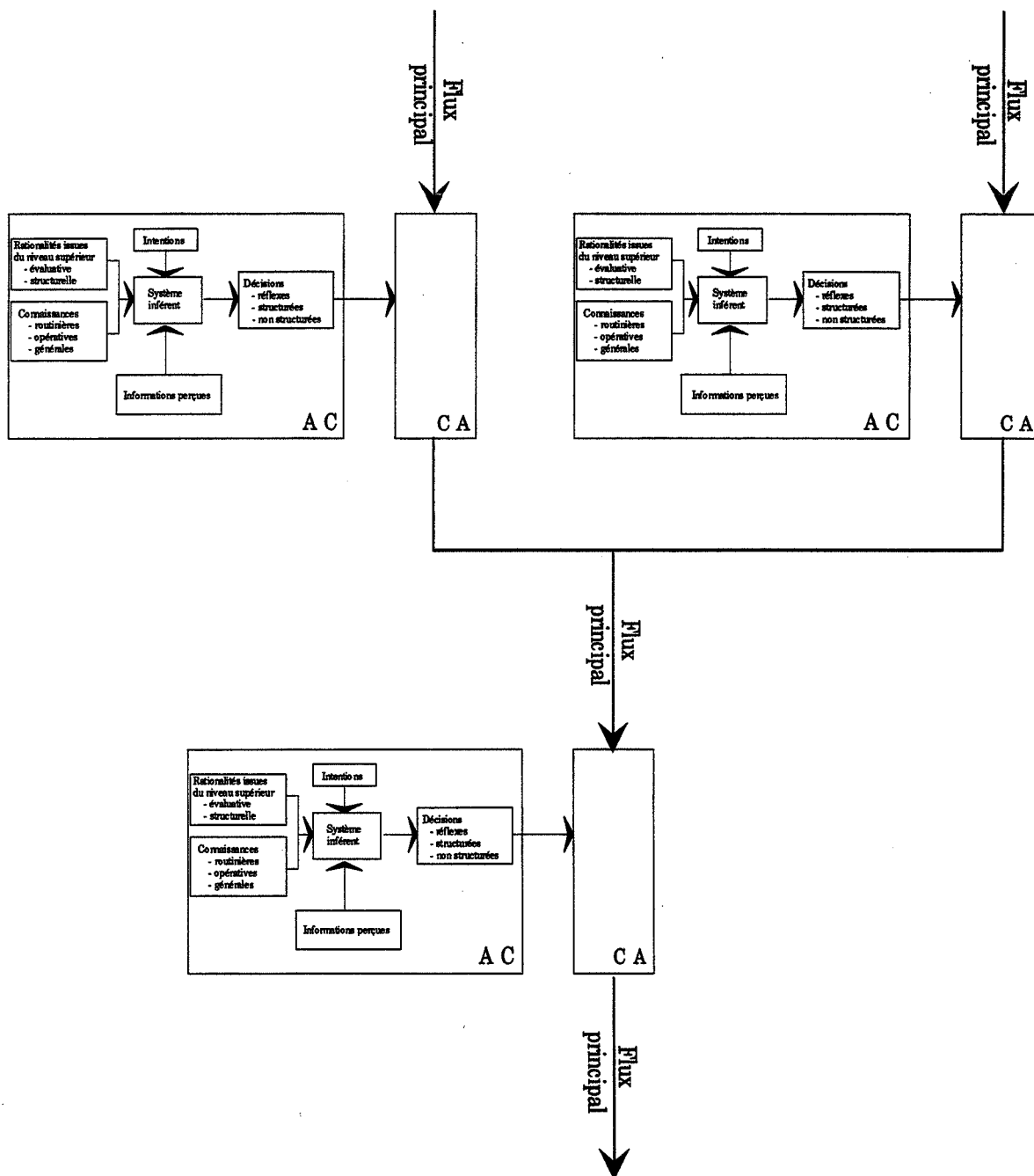


Schéma 40 : Représentation d'une chaîne d'activités

Ce regroupement que nous venons de décrire, des centres d'activités en chaînes d'activités, renvoie naturellement au concept de processus opérationnel, au sens de la coopération répétée de manière récurrente d'activités distinctes, pour la réalisation d'un objectif global et orienté vers un client final⁸⁹. Nous allons donc formaliser à présent la représentation, selon notre système de modélisation, du concept de processus opérationnel, en montrant comment la construction du modèle se situe dans le cadre d'une démarche d'intégration méta-systémique.

2. L'intégration méta-systémique

Nous considérons que le regroupement de centres d'activités selon un processus guidé par une finalité (par exemple, objectif de production de produits finis vendables) ne procède pas d'une hiérarchie linéaire, mais bien d'une organisation méta-systémique en niveaux d'intégration. Le processus opérationnel est en effet pour nous un niveau d'intégration supérieur qui donne un sens global à des activités locales, qui n'existe que par l'existence des activités qui le constituent, et qui peut à son tour être représenté par la combinaison d'un agent cognitif et d'un centre d'activités de méta-niveau. Nous allons dans un premier temps expliciter la représentation d'un processus opérationnel dans notre système de modélisation, puis nous appliquerons à nouveau le concept d'intégration méta-systémique en ajoutant un niveau afin de modéliser les processus stratégiques ou projets de la firme.

2.1 Les processus opérationnels

Pour représenter plus complètement les processus opérationnels qui se déroulent au sein des organisations productives, nous devons modéliser les processus décisionnels qui les guident. Dans ce but, nous allons construire un agent cognitif de méta-niveau, sur la base de la structure précédente des agents cognitifs qui pilotent les centres d'activités. Un processus opérationnel sera donc représenté par le couplage d'un module de décision formalisé par un agent cognitif et d'une chaîne d'activités :

⁸⁹ Selon la définition de P. Zarifian. Cf. Chapitre 4, section 3, 2.2.

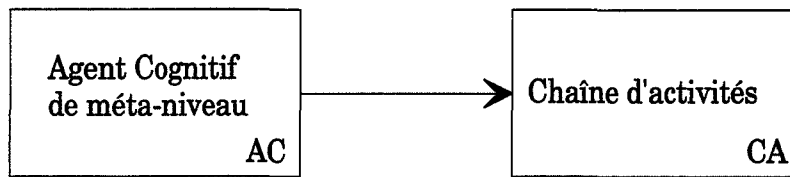


Schéma 41 : Représentation d'un processus opérationnel

L'agent cognitif de méta-niveau oriente l'action de la chaîne d'activités. Sa structure interne est comparable à celle de l'agent cognitif de niveau inférieur : il possède en particulier des intentions propres qui vont guider son comportement, et un espace de métaconnaissances, c'est-à-dire de connaissances sur les connaissances du niveau inférieur. Il reçoit des informations, notamment en provenance de la chaîne d'activités qu'il pilote, et reçoit des rationalités évaluatives et structurelles en provenance d'un niveau supérieur. Il émet vers la chaîne d'activités des décisions directes, mais également des rationalités évaluatives et structurelles⁹⁰, qui sont des entrées de méta-niveau pour les agents cognitifs pilotant les centres d'activités, et qui permettent d'orienter leur comportement. Le schéma suivant décrit un processus opérationnel selon notre méthode de modélisation, et montre sa relation méta-systémique avec les activités :

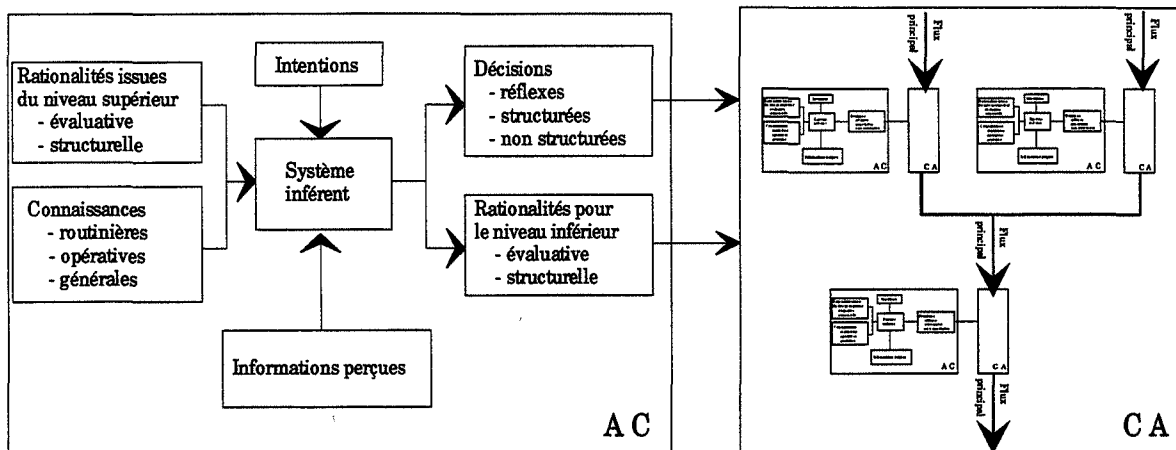


Schéma 42 : Modèle développé d'un processus opérationnel

⁹⁰ Ce qui le différencie structurellement des agents cognitifs de niveau inférieur.

Dans le contexte d'une hiérarchie très directive, nous serions tentés d'associer l'agent cognitif à un chef d'atelier qui dirige une ligne de production. En effet, un chef d'atelier possède des connaissances sur les savoirs et sur les compétences de chaque opérateur, reçoit des informations sur l'état de l'atelier et est guidé par des rationalités évaluatives (critères de performance) et structurelles (définition de son autorité et des lieux où ses décisions s'appliquent) en provenance du niveau hiérarchique supérieur. A partir de ses intentions propres, il envoie à son tour des ordres vers les opérateurs ainsi que des rationalités évaluatives et structurelles pour guider leur comportement.

Ce cas est cependant réducteur, et de manière générale l'agent cognitif n'est pas exactement assimilable à un chef d'atelier. Il représente plus précisément le processus collectif de réflexion des membres d'une organisation mobilisés dans une volonté commune de faire fonctionner et d'améliorer un processus opérationnel au sein duquel chacun trouve la possibilité d'exprimer et de réaliser ses intentions propres. Ce modèle permet donc notamment de représenter une équipe de production fonctionnant de manière collégiale sans chef d'atelier, tout en respectant le principe selon lequel le tout est plus que la somme des parties. Cet écart entre le tout et les parties est ici formalisé par l'agent cognitif de méta-niveau qui représente le processus décisionnel collectif dans lequel les acteurs de l'organisation sont individuellement impliqués.

Le modèle permet aussi de représenter le concept d'*auto-évaluation*, c'est-à-dire de l'évaluation du système par lui-même, que nous avons présentée comme plus pertinente qu'une évaluation externe et détachée du système pour bien prendre en compte les effets structurants du bruit⁹¹. En effet, le méta-niveau, constitué d'un collectif des membres de l'organisation, définit ici pour le niveau inférieur les critères d'évaluation (rationalité évaluative) qui permettront de déterminer ses performances. Nous formalisons ainsi la dimension collective de l'évaluation économique par le fait qu'une organisation s'auto-évalue en évaluant elle-même les performances de ses composants.

Un agent cognitif de méta-niveau n'est donc pas associé à un individu particulier. Même dans le cas d'une structure à caractère mécaniste⁹², dans laquelle chaque niveau

⁹¹ Cf. Chapitre 4, section 3, 1.1.

⁹² Au sens de T. Burns et G. Stalker, et par opposition aux structures organiques. Cf. Chapitre 1, section 3, 1.1.

hiérarchique est affecté dans l'organigramme à un responsable qui doit évaluer les performances des membres de son service, nous considérons que le responsable est davantage le représentant de son niveau que son réel pilote. L'agent cognitif de méta-niveau sera donc dans ce cas la formalisation de l'association de l'activité cognitive du responsable et de l'activité cognitive des autres membres de l'organisation.

Notre modèle permet donc d'établir une cartographie des processus opérationnels d'une organisation productive et donne ainsi une représentation partagée de la participation de chaque activité aux objectifs communs. Il permet également de représenter le système réparti de décisions qui pilote les activités et les processus. Les processus seront des lieux de regroupement d'activités qui consomment des coûts, mais également des lieux d'élaboration de la valeur au sein de l'organisation, et auront en particulier un rôle de réorganisation permanente des activités pour répondre aux sollicitations de l'environnement. Mais dans le contexte d'une entreprise-compétences qui évolue en environnement instable, les processus opérationnels sont eux-mêmes remis en cause dans des démarches d'améliorations permanentes. Nous devons donc représenter également les processus stratégiques ou projets qui modifient les processus opérationnels.

2.2 Les processus stratégiques ou projets

Les processus stratégiques correspondent dans notre modèle à des actions de transformation forte d'un ou plusieurs processus opérationnels dans une visée de modifications des conditions de base de production de valeur pour le client⁹³. Les processus stratégiques sont de méta-niveau par rapport aux processus organisationnels qu'ils transforment : ils leur confèrent un caractère dynamique en les faisant évoluer, et leur donnent une signification en les insérant dans un projet global et fédérateur, tandis que l'existence des processus opérationnels autorise en retour l'existence de processus stratégiques.

Nous représenterons un processus stratégique par le couplage d'un module de décision formalisé par un agent cognitif et d'un module regroupant un ensemble de processus opérationnels :

⁹³ Nous utilisons la définition d'un processus stratégique donnée par P. Zarifian. Cf. Chapitre 4, section 3, 2.2.

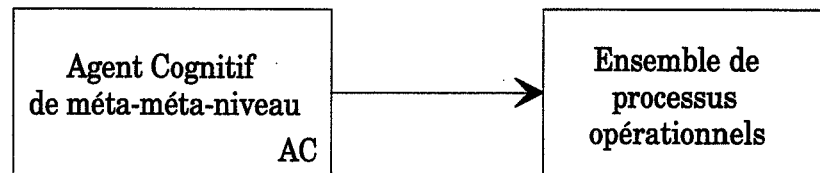


Schéma 43 : Représentation d'un processus stratégique

Le module de droite ne regroupe pas tous les processus opérationnels identifiés dans l'entreprise, mais uniquement ceux qui sont concernés par un même processus stratégique, c'est-à-dire par un même projet de transformation. En effet, aux axes stratégiques de développement définis par une entreprise sont attachés des processus clefs qui sont des voies d'accès aux visées stratégiques⁹⁴. Un processus stratégique aura pour rôle de modifier ces processus opérationnels clefs, de façon à amener l'entreprise dans une configuration adaptée à ses choix stratégiques. Notons que la représentation est bien reliée à ce niveau avec les développements stratégiques futurs de la firme, et pas seulement restreinte à ses dysfonctionnements actuels. Ainsi, dans le cadre d'une démarche de réingénierie, les processus à reconfigurer en priorité seront sélectionnés parmi les processus opérationnels majeurs de l'entreprise, selon des critères de dysfonctionnement (processus posant le plus de problèmes), des critères d'importance (processus ayant le plus d'impacts sur les clients) et des critères de faisabilité (processus susceptibles d'évoluer effectivement dans le cadre de la démarche de projet)⁹⁵. Ici en revanche, nous souhaitons représenter des processus fonctionnant de manière satisfaisante, ou encore des processus peu importants dans le contexte actuel, mais dont la modification est essentielle pour répondre aux objectifs futurs de développement stratégique. Nous voyons que le concept de processus stratégique que nous avons retenu pour notre modélisation est donc plus large que celui qui est choisi dans la démarche de réingénierie.

L'autre partie du modèle est constituée d'un agent cognitif qui oriente les évolutions des processus opérationnels clefs. Cet agent cognitif est de méta-niveau par rapport à l'agent cognitif qui pilote les chaînes d'activités, mais sa structure est identique. Il dispose d'un espace de connaissances sur les connaissances des processus opérationnels, possède des intentions propres, perçoit des informations, émet des décisions qui transforment les

⁹⁴ P. ZARIFIAN : "L'émergence de l'organisation par processus : à la recherche d'une difficile cohérence", in *Cohérence, pertinence et évaluation*, ECOSIP, Economica, 1995, à paraître, p. 18 de l'article.

⁹⁵ Cf. M. HAMMER M. et J. CHAMPY : *Le reengineering*, Dunod, 1993, p. 138.

processus opérationnels, et émet des rationalités qui orientent leurs évolutions. Il est lui-même guidé par des rationalités évaluatives et structurelles de niveau supérieur. Le schéma suivant récapitule le modèle général, défini suivant trois niveaux d'intégration méta-systémique qui regroupent les activités, les processus opérationnels et les processus stratégiques :

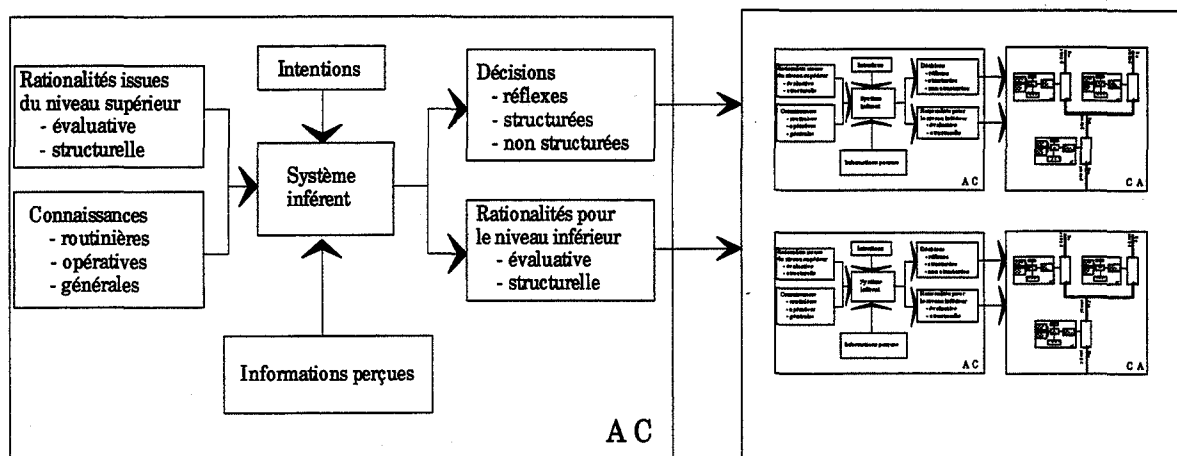


Schéma 44 : Modèle développé d'un processus stratégique

Nous modélisons donc une organisation productive en représentant l'ensemble de ses processus stratégiques qui transforment ses processus opérationnels réorganisant eux-mêmes ses activités de base, ce qui permet en particulier de relier les objectifs stratégiques avec les possibilités concrètes d'organisation des activités internes de l'entreprise. Notons bien que cette représentation en trois niveaux ne prétend pas donner une description absolue de la structure d'une organisation productive. Elle est en effet liée fortement aux projets du modélisateur et en particulier à notre intention de représenter les évolutions récentes des systèmes de production, notamment en direction de la flexibilité et de l'intégration. Elle possède d'ailleurs en ce sens un caractère intrinsèquement dynamique car elle met en scène des acteurs cognitifs qui pilotent et modifient les activités, les chaînes d'activités et les processus opérationnels. Elle nous permet donc de décrire des trajectoires productives inscrites dans les évolutions récentes des systèmes de production.

Notons également que dans notre modèle, l'information et la décision sont réparties sur chacun des trois niveaux d'intégration, à la différence des approches traditionnelles qui consistaient à séparer le sous-système d'information et le sous-système décisionnel du sous-

système physique⁹⁶. Cette représentation nous permet ainsi d'évaluer les conséquences de la distribution des décisions sur les performances d'une organisation productive.

Pour formaliser plus précisément l'évaluation d'un type d'organisation, nous considérons qu'un processus stratégique consomme des ressources et induit en conséquence des coûts, que P. Zarifian décompose en deux éléments : d'une part le coût du projet et des implications en temps et en moyens qu'il suppose, et d'autre part le coût de ses effets en terme de réorganisation⁹⁷. La seconde contribution est naturellement intégrée dans notre modèle par le fait que les processus stratégiques y sont reliés aux activités consommant des ressources. Les coûts des processus après modification sont donc présents par construction dans la représentation. En revanche, pour prendre en compte le coût des projets, nous devons identifier et valoriser les ressources consommées par le module regroupant et transformant les processus opérationnels.

Sur le plan des performances, un processus stratégique améliore les processus opérationnels qu'il transforme, et cette amélioration apparaît également par construction du modèle à partir des améliorations locales de chaque activité et à partir des effets induits par leur meilleure combinaison. La performance du projet lui-même, que P. Zarifian considère comme moins économique que sociale, et résidant dans la qualité des implications qui auront été obtenues⁹⁸, est beaucoup plus difficile à représenter. Il faut à notre avis considérer ici le système formé par le modèle et les observateurs de ce modèle pour comprendre comment l'explicitation des enjeux stratégiques est promue grâce à une représentation collective au sein de l'ensemble des acteurs concernés.

Enfin, nous n'avons pas encore représenté les boucles dynamiques d'apprentissage qui se forment au sein d'un système cognitif. Nous considérons qu'elles correspondent à une mise à jour des modules de connaissances et des systèmes inférents à l'intérieur des agents cognitifs. Par exemple, un apprentissage subi sera décrit par un remplacement progressif de connaissances générales en connaissances routinières, en raison de l'accomplissement répété de tâches identiques par l'agent cognitif. Ces phénomènes d'apprentissage donneront une nouvelle dynamique au modèle de représentation, et nous les utiliserons dans le chapitre suivant lors de la simulation d'exemples industriels.

⁹⁶ Cf. Chapitre 1, section 3, 2.2.

⁹⁷ P. ZARIFIAN : "Gestion par activités, gestion par processus, gestion par projets : quelles différences ? Quels rapports ?", *op. cit.*, p. 21.

⁹⁸ *Idem*, p. 23.

Nous avons construit dans ce chapitre un langage nouveau de représentation axé sur les concepts de l'entreprise-compétences et se présentant comme une alternative aux modèles fondés sur les concepts de l'entreprise-facteurs. Nous avons ainsi relié l'approche méta-systémique avec la décomposition d'une organisation en activités, processus et projets, et nous avons représenté les phénomènes cognitifs par un formalisme issu des structures utilisées en intelligence artificielle distribuée.

Ce modèle est à la fois destiné à représenter l'entreprise-compétences et destiné à supporter une forme organisationnelle de calcul économique. Nous allons le valider en décrivant à l'aide de notre langage de modélisation un cas industriel réel de projet productique, et en expérimentant une démarche de calcul organisationnel à partir d'une maquette de simulation.

CHAPITRE 6 : VALIDATION INDUSTRIELLE ET EXPERIMENTATION

Nous allons à présent valider le modèle de représentation des organisations productives que nous avons construit au chapitre précédent. Cette validation se situera à deux niveaux : une première étape consistera à vérifier que notre langage de modélisation est adapté pour représenter le cas réel d'une entreprise industrielle engagée dans un projet productif visant à reconfigurer ses processus principaux selon une démarche d'intégration et de flexibilité. Une seconde étape consistera à réaliser un modèle simulé de cette entreprise de façon à vérifier que notre langage permet bien de représenter dynamiquement les comportements des organisations productives.

Dans une première section, nous présenterons l'entreprise industrielle que nous avons retenue pour la première phase de validation, et nous décrirons le projet productif qui s'y est déroulé et que nous avons observé. Nous réaliserons ensuite une cartographie des processus de cette entreprise selon notre langage de modélisation.

Dans une seconde section, nous présenterons l'expérience de simulation que nous avons réalisée pour reproduire dynamiquement les trajectoires productives observées. Pour cela nous précisons au préalable les apports théoriques que nous pouvons attendre d'une démarche de simulation considérée comme procédure scientifique expérimentale, ainsi que les techniques employées. Nous décrirons ensuite les différents modules qui constituent le modèle de simulation.

Dans une troisième section, nous exposerons les résultats des expériences de simulation, et nous montrerons en quoi cette démarche permet d'améliorer notre perception et notre compréhension du fonctionnement des organisations productives.

SECTION 1 : VALIDATION INDUSTRIELLE DU MODELE

1. Présentation de l'entreprise S.

Pour mettre en application notre modèle théorique de représentation sur une situation productique réelle, nous avons retenu le cas de l'entreprise S. qui nous paraît représentatif du nouveau contexte industriel décrit au chapitre 3. Nous verrons en effet que cette entreprise industrielle est bien sous l'impulsion de ses marchés dans une situation de mutation organisationnelle qui s'exprime clairement par un mouvement vers la flexibilité et vers l'intégration.

1.1 L'entreprise S. et son environnement

L'entreprise S. réalise un chiffre d'affaires annuel de 50 MF, et emploie une centaine de personnes. Elle est située entre Lyon et Saint-Etienne, et a développé depuis le début du siècle une activité centrée sur le métier de la découpe et de l'assemblage de pièces de tôlerie. Elle est actuellement spécialisée dans la fabrication de réservoirs métalliques à carburant, de chauffe-eau et de meubles métalliques. A ce jour, la production de chauffe-eau et la production de meubles métalliques ne participent que de façon marginale au chiffre d'affaires, la première correspondant à une gamme de produits en fin de cycle de vie, et la seconde à un début de diversification. Nous focaliserons notre étude sur la fabrication des réservoirs pour véhicules industriels, qui génère les trois quarts du chiffre d'affaires.

Le marché des réservoirs à carburant pour véhicules industriels est un marché de biens intermédiaires, et l'entreprise S. vend ses produits en première monte et comme pièces de rechange à une clientèle industrielle. Dans la pratique, un client prépondérant, constructeur de véhicules lourds, représente les deux tiers du chiffre d'affaires. Le comportement de l'entreprise S. est donc fortement influencé par les exigences industrielles de ce premier client.

Les volumes de fabrication annuels sont de l'ordre de 60 000 réservoirs, ce qui classe l'entreprise dans le secteur de la moyenne série (environ 300 produits sont fabriqués chaque jour). La gamme commerciale est d'autre part assez large puisque le catalogue propose une centaine de références différentes de réservoirs, différenciés par leurs dimensions, leur matière (acier, aluminium), et leurs accessoires (orifices de remplissage, jauges, éléments de

fixation, ...). Cette gamme est elle-même renouvelée chaque année pour environ 20 % des références.

Le processus de fabrication se décompose en quatre étapes :

- la préparation des tôles (cisailage, découpe, poinçonnage, emboutissage et détournage),
- la mise en forme des tôles (pliage et cintrage),
- l'assemblage, essentiellement par soudage, qui comprend un nombre important de postes associés à l'utilisation de techniques différentes,
- le traitement de surface.

Le flux physique de production est organisé de façon très traditionnelle selon des pôles de compétence liés aux savoir-faire de l'entreprise. Les moyens de production sont ainsi regroupés en sections homogènes, selon les quatre étapes précédentes du processus de fabrication qui correspondent à autant de métiers différents au sein de l'entreprise. Cette organisation en sections engendre naturellement des temps de transferts qui allongent les délais de fabrication.

D'autre part, la gestion de la fabrication est très dépendante des temps de changement d'outils qui sont élevés (plusieurs heures), et qui justifient localement des campagnes de tailles importantes (lancements d'environ 150 pièces pour des consommations allant de plus de 100 pièces par mois à moins de 10 pièces par an).

La gestion de production est assistée par un système d'information fondé sur le concept MRP. Le schéma suivant représente le flux physique et le système d'information qui l'anime, présentés selon la vision traditionnelle différenciant les systèmes d'information-décision du système physique. Nous y retrouvons la chaîne décisionnelle déclinant les prévisions commerciales en programme de production, puis en ordres de fabrication à partir d'un calcul des besoins et d'un module d'ordonnancement informés sur l'état des stocks et des en-cours.

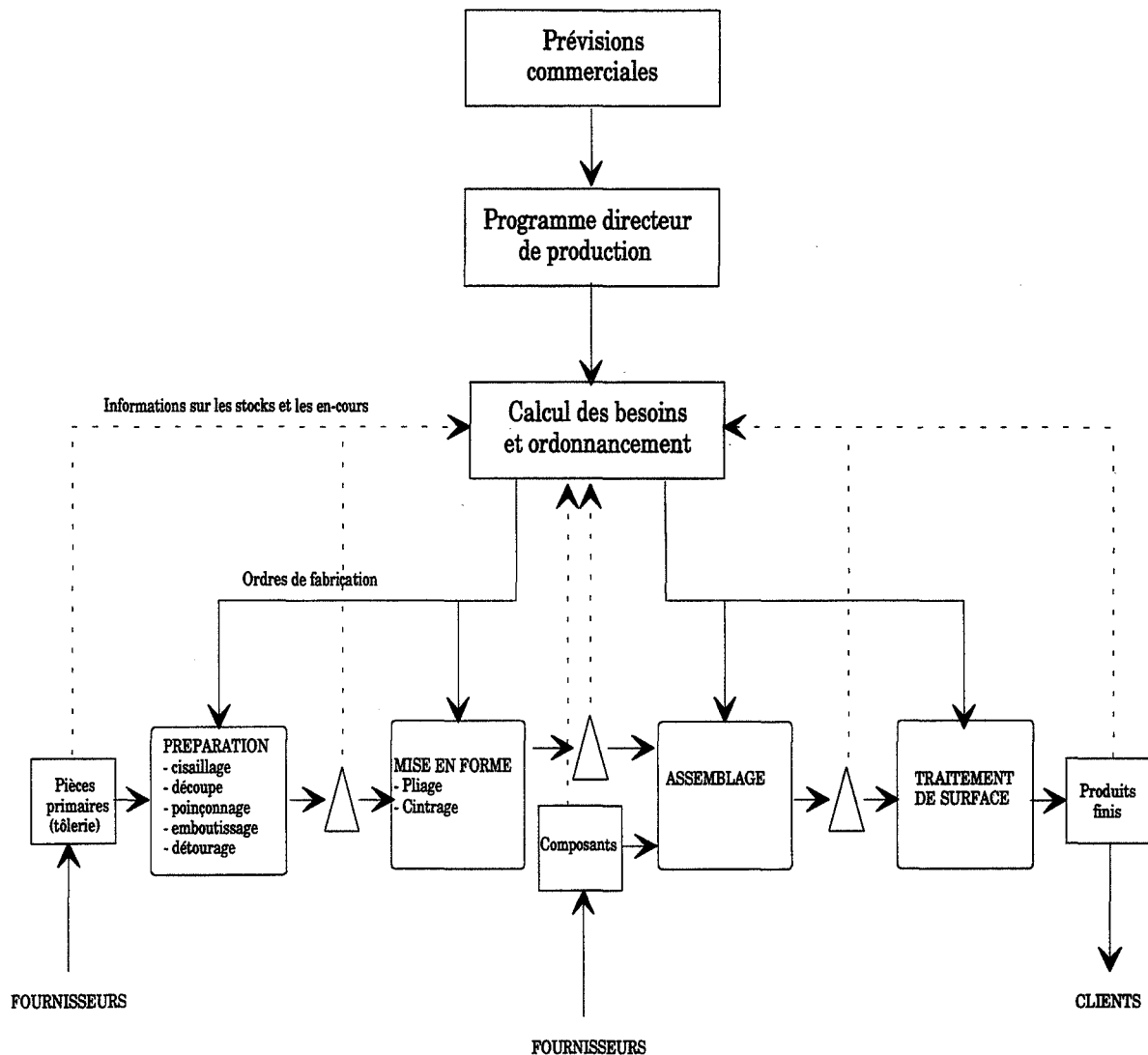


Schéma 45 : Présentation du flux de fabrication et du système de gestion de l'entreprise S.

Notons enfin que la gestion en flux poussé, associée à des tailles de lot élevées, mène à la formation de stocks de matières et d'en-cours qui limitent la réactivité de l'entreprise S. face aux variations de son marché et face aux exigences industrielles croissantes de son principal client.

1.2 Evolutions actuelles

Le marché de l'entreprise S. a suivi les évolutions récentes des marchés industriels caractérisées par des exigences croissantes non seulement sur les prix, mais également sur les composantes hors-prix de la compétitivité : qualité, délais et variété. En particulier, son premier client a entrepris une démarche organisationnelle de logistique d'achat qui l'a mené à une réduction considérable du nombre de ses fournisseurs et à la mise en place de relations de partenariat. Dans ce cadre, l'entreprise S. a été retenue comme fournisseur unique pour les réservoirs à carburant, pour une période de cinq ans. Elle a en contrepartie pris des engagements de baisse des prix de ventes, d'amélioration de sa flexibilité et d'intégration de la phase de conception des produits dans son savoir-faire.

Ainsi, l'entreprise S. est sous l'impulsion de ses marchés dans une situation de mutation organisationnelle qui l'a conduite d'une place de simple sous-traitant à une position d'ensemblier, et qui la conduira plus tard à un statut d'équipementier vis-à-vis de son principal client. La première transition, qui a menée l'entreprise à une position d'ensemblier, est déjà la conséquence d'une évolution de la demande commerciale. Celle-ci s'est en effet déplacée depuis une simple demande de réalisation de pièces disséminées, vers une demande de livraison de "fonction" réservoir, c'est-à-dire d'un réservoir complètement équipé de ses accessoires (jauge, bouchon, fixation,) et livré de façon synchrone avec les produits en cours de montage sur la ligne du client (dimension, couleur, ...). La seconde transition résulte d'un partenariat encore plus poussé qui prévoit la prise en charge progressive par l'entreprise S. des étapes de conception, de développement de produits, d'essais et d'homologation. Elle nécessitera naturellement le renforcement interne du potentiel de recherche et développement.

Ces mutations importantes ont été formalisées au sein de l'entreprise S. par un projet productique aux objectifs désignés suivants :

- réduction du délai entre l'arrivée d'une nouvelle commande et la livraison du produit en incluant la conception,
- flexibilité,
- réduction des coûts totaux de production,
- diminution des arrêts machines par maintenance préventive.

Nous retrouvons bien ici des préoccupations sur les composantes hors-prix et sur les composantes prix de la compétitivité. Notons que la volonté de réduire les arrêts machines par une politique de maintenance préventive répond aux deux préoccupations puisqu'elle

peut à la fois mener à une réduction des coûts de revient (notamment en évitant les heures supplémentaires nécessaires pour rattraper les périodes d'indisponibilité des machines) et mener à une meilleure maîtrise des délais.

Les méthodes employées pour le projet productique renvoient aux techniques d'amélioration de la flexibilité et de l'intégration que nous avons décrites au chapitre 3. En particulier nous avons retrouvé, en observant le déroulement du projet, l'utilisation d'outils classiquement associés à la démarche juste-à-temps¹ : système kanban de pilotage de la production à flux tiré, méthode SMED de changement rapide d'outils, standardisation des opérations, démarche qualité, ...

D'autre part, le projet productique de l'entreprise S. possède une forte dimension collective. La mise en oeuvre d'un tel projet, qui transforme profondément les habitudes de travail, passe en effet par la mobilisation des membres de l'organisation et par leur adhésion à un objectif commun partagé. La société de conseil en organisation qui a accompagné l'entreprise S. dans sa démarche, ainsi que la direction, ont été particulièrement vigilantes sur la nécessité d'associer les salariés dans les réflexions de façon à les présenter comme acteurs du changement.

Enfin cette dimension collective s'accompagne clairement d'une dimension cognitive marquée. En effet, l'intégration au sein de l'entreprise S. des étapes de conception, de développement de produits, d'essais et d'homologation ne peut réussir qu'accompagnée d'une évolution forte du potentiel humain de l'entreprise. En particulier, l'objectif de réduction de délai entre l'arrivée d'une nouvelle commande et la livraison du produit n'est réalisable que dans le cadre d'une intégration des différents services concernés à chaque étape. Nous assistons ici au passage d'une culture taylorienne fondée sur la répartition de savoir-faire technologiques détenus par des spécialistes (soudeurs, ajusteurs, régleurs, ...), marquée par l'histoire industrielle de la région et caractérisant l'entreprise-facteurs, à une culture fondée sur le partage et l'intégration des connaissances, non seulement dans l'entreprise mais également avec ses partenaires, et qui caractérise l'entreprise-compétences. Sur le terrain, cette transition est soutenue par des efforts importants de formation (les dépenses de formation atteignent près de 4% de la masse salariale), par des embauches de personnel qualifié (notamment pour mettre en oeuvre la démarche qualité), et par une démarche d'intégration informatique visant à améliorer la communication entre différents progiciels de traitement d'informations (CAO, CFAO, GPAO, EDI).

¹ Cf. Chapitre 3, section 2, 2.1.

La composante du projet d'entreprise spécialement consacrée à l'amélioration du flux physique de production a été formalisée sous le nom de Plan de Progrès Continu Logistique. Ce plan de progrès concerne naturellement à la fois le système productif et les systèmes d'information et de décision, dans une démarche globale d'intégration qui renvoie au développement d'une autonomie créatrice de décisions et d'actions au plus près du flux de production. En particulier, la gestion de production de l'entreprise S. a été transformée, et nous la représentons à présent par le schéma suivant :

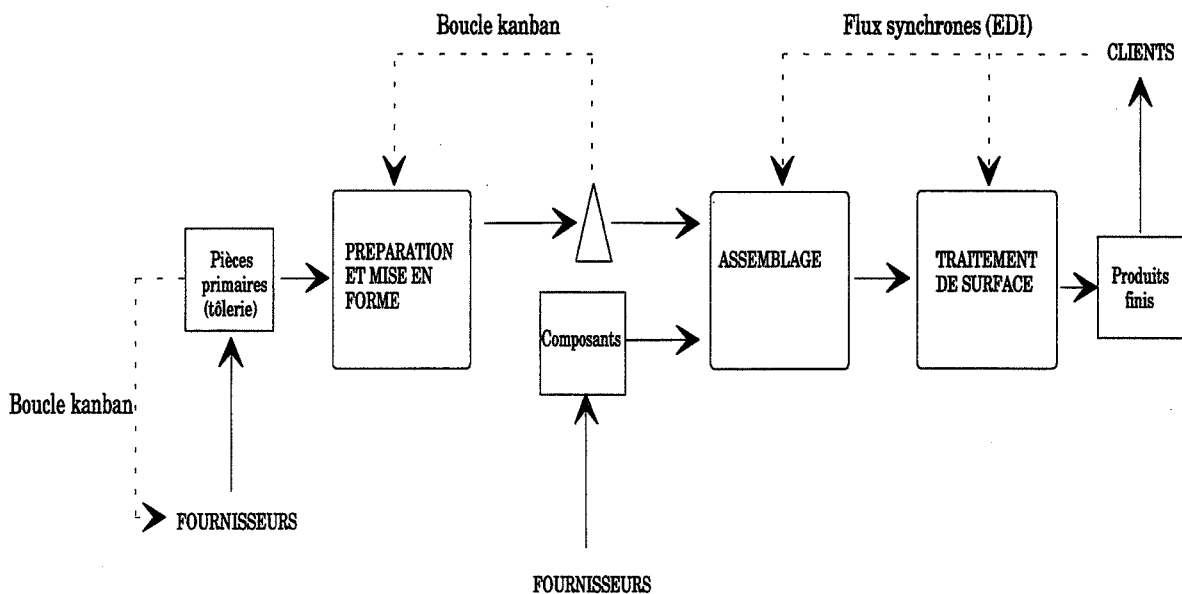


Schéma 46 : Représentation du flux de fabrication modifié par le projet productique

Dans cette nouvelle configuration, les opérations de préparation et de mise en forme ont été regroupées et sont pilotées par une boucle kanban. Les opérateurs sont ainsi autonomes pour décider de l'ordonnancement en fonction des indications du tableau kanban. De même, les approvisionnements en tôles sont gérés par une boucle kanban placée entre l'entreprise S. et ses fournisseurs, les autres composants étant pour l'instant toujours gérés par le système informatique et déclenchés sur seuil de commande².

² Le module de GPAO est également utilisé pour donner des indications sur la charge globale des mois à venir, ce qui permet de prévoir les capacités nécessaires et de donner des prévisions d'approvisionnement aux fournisseurs de façon à développer une démarche de partenariat en amont.

Les opérations d'assemblage et de peinture sont déclenchées par des ordres reçus via le module d'échange de données informatisé, ce qui permet de travailler en flux synchrone avec la ligne d'assemblage du client principal, à partir d'un programme de montage connu deux jours à l'avance.

Enfin, la taille des lots a été fortement réduite grâce à des opérations de réduction de temps de changement d'outil, pour améliorer la flexibilité et être réactif vis-à-vis des appels de livraison synchrones.

2. Cartographie des processus

Nous allons à présent décrire l'entreprise S. au moyen du langage de modélisation que nous avons défini. Nous représenterons les processus opérationnels principaux attachés aux axes stratégiques de développement définis par l'entreprise, puis nous détaillerons la représentation du projet productique qui transforme ces processus.

2.1 Représentation des processus de traitement d'informations et de transformation physique

Nous identifions tout d'abord deux processus clefs, dont les reconfigurations apparaissent clairement comme des voies d'accès aux visées stratégiques, et qui sont de ce fait directement concernés par le projet productique :

- le processus administratif de traitement d'informations qui transforme les prévisions commerciales en ordres de fabrications,
- le processus de transformation physique des matières premières en produits finis.

Le processus administratif de traitement d'informations est représenté à travers notre langage de modélisation par un couple formé d'une chaîne d'activités et d'un agent cognitif qui la pilote. La chaîne d'activités est elle-même formée de couples de niveau inférieur, constitués chacun par un centre d'activités et par un agent cognitif. Nous décrivons par le schéma suivant la chaîne d'activités qui transformait les prévisions commerciales en ordres de fabrication, avant la mise en oeuvre du projet productique :

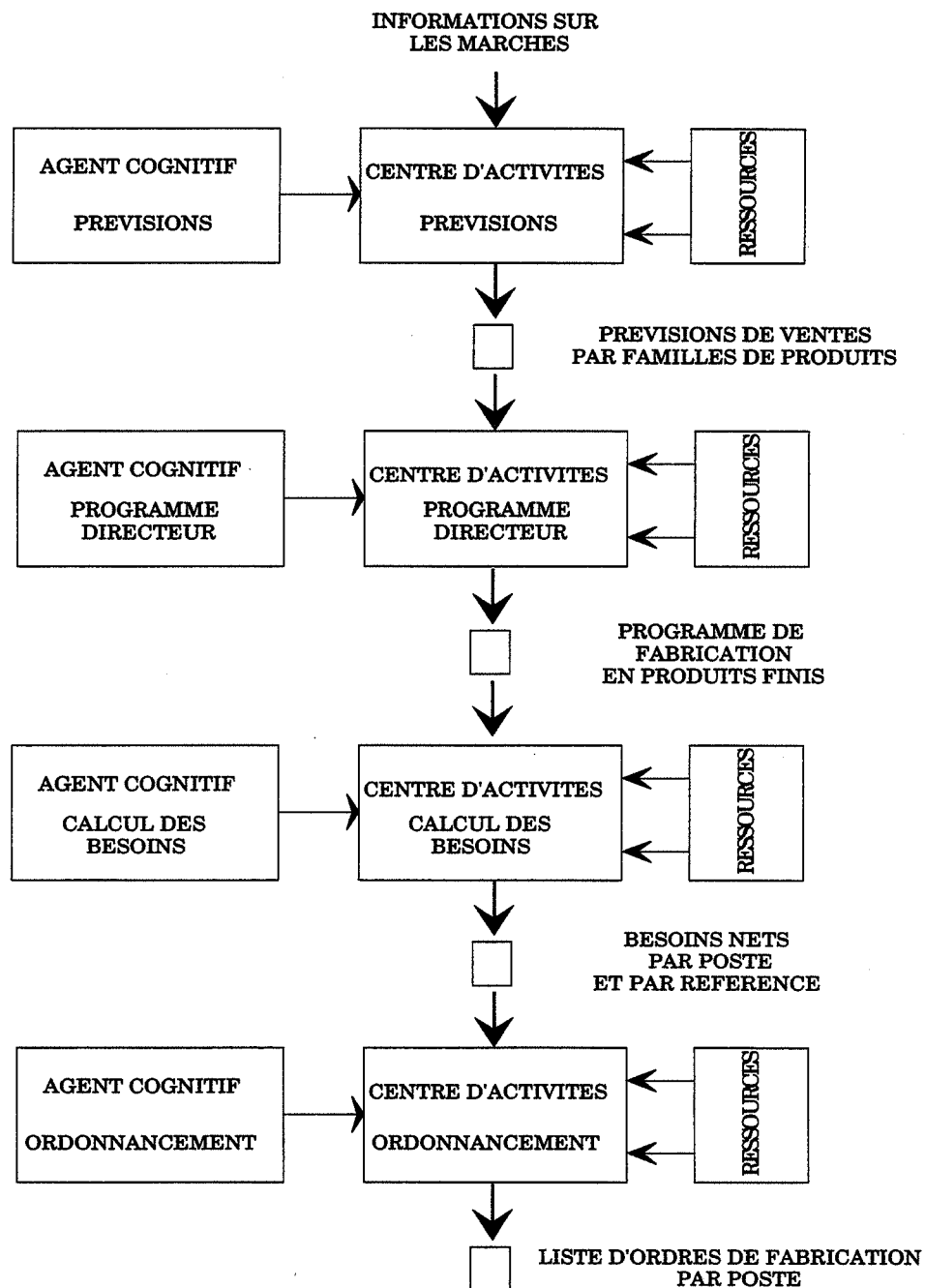


Schéma 47 : Modélisation de la chaîne d'activités de traitement d'informations

A titre d'exemple, le centre d'activités de calcul des besoins transforme un programme directeur de production exprimé en quantités de produits finis à fabriquer par mois, en une liste de besoins nets exprimée en articles (produits finis, sous-ensembles, composants et matières premières) à fabriquer chaque semaine ou à acheter. Dans le cas de l'entreprise S.,

cette transformation était effectuée par un progiciel de GPAO qui constitue la ressource du centre d'activités. L'agent cognitif de calcul des besoins, qui pilote ce centre d'activités, a un rôle de configuration des paramètres du module de calcul des besoins. Il règle en particulier la fréquence du calcul des besoins, et les stocks de sécurité pour chaque article.

Cette chaîne d'activités de traitement d'informations est à son tour pilotée par un agent cognitif de méta-niveau, l'ensemble formant le processus administratif de traitement d'informations qui transforme les prévisions en ordres de fabrication :

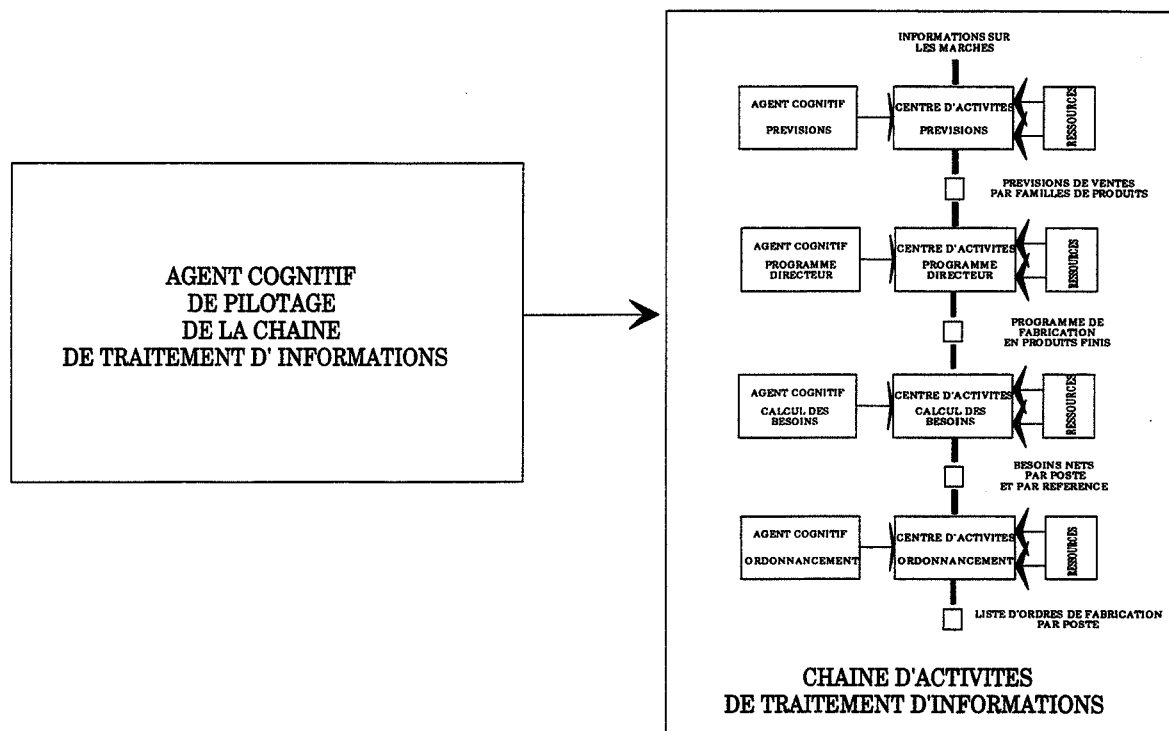


Schéma 48 : Modélisation du processus administratif de traitement d'informations

Cet agent cognitif définit l'organisation de la chaîne de traitement qu'il pilote. En particulier pour l'entreprise S., il a décidé que les ordres de fabrication seraient définis selon une méthode de type "flux poussé", par un traitement MRP suivi d'un ordonnancement. Il définit également les rationalités structurelles pour les niveaux inférieurs (par exemple : "l'agent cognitif pilotant l'ordonnancement décide de la taille des lots") ainsi que les rationalités évaluatives ("la performance du calcul des besoins est évaluée par les retards de livraison des commandes de produits finis"). Dans la forme organisationnelle ancienne de l'entreprise S., cet agent cognitif représente essentiellement l'activité cognitive du directeur technique dans sa fonction de responsable gestion de production.

Le processus de transformation physique est également représenté à travers notre langage de modélisation par un couple formé d'une chaîne d'activités et d'un agent cognitif qui la pilote. Le schéma suivant décrit la chaîne d'activités de transformation des matières premières en produits finis :

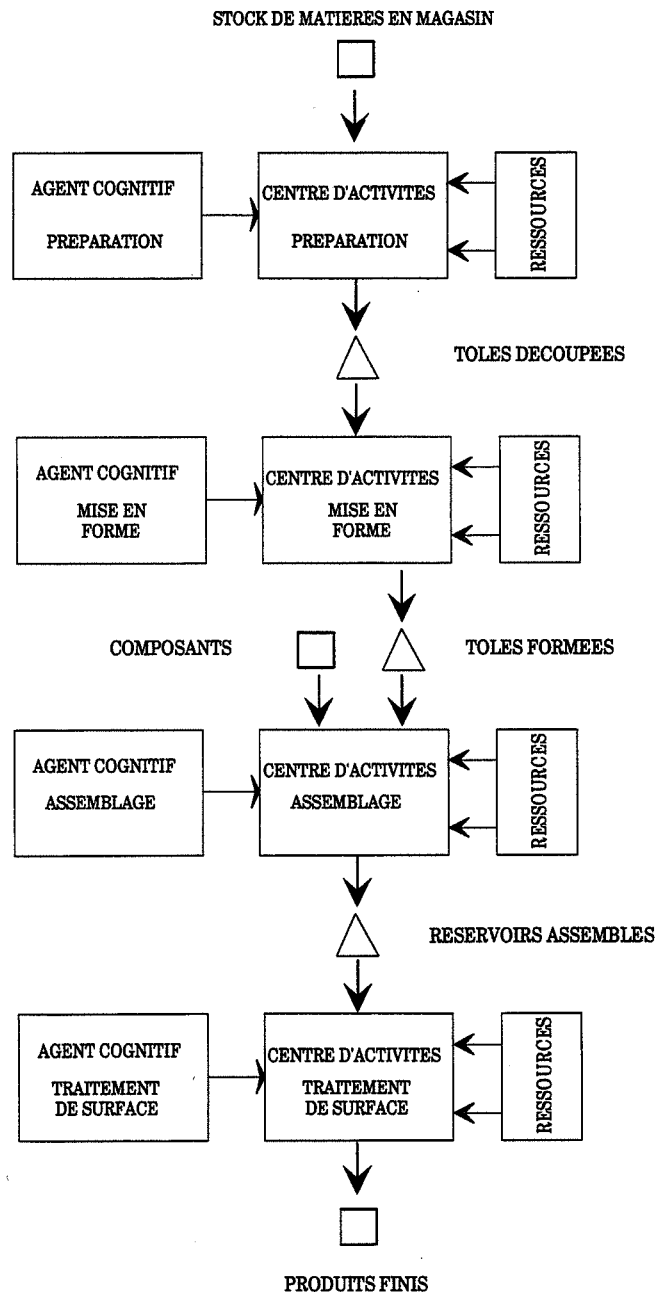


Schéma 49 : Modélisation de la chaîne d'activités de transformation physique

Chaque centre d'activités regroupe un ensemble d'opérations élémentaires concourant à la transformation des matières premières en produits finis, selon les quatre étapes principales³ identifiées sur le processus de production de l'entreprise S. A chaque étape sont représentées les ressources nécessaires à cette transformation, c'est-à-dire les machines et la main d'oeuvre utilisées. Chaque centre d'activités est piloté par un agent cognitif qui conduit les opérations de transformation. A titre d'exemple, pour l'activité de traitement de surface l'agent cognitif représente l'activité cognitive individuelle de la personne qui contrôle le tunnel de peinture, et pour l'activité d'assemblage il représente l'activité cognitive collective du groupe qui assemble les tôles.

La chaîne d'activités de transformation est elle-même pilotée par un agent cognitif de méta-niveau, l'ensemble formant le processus de transformation physique de l'entreprise S. :

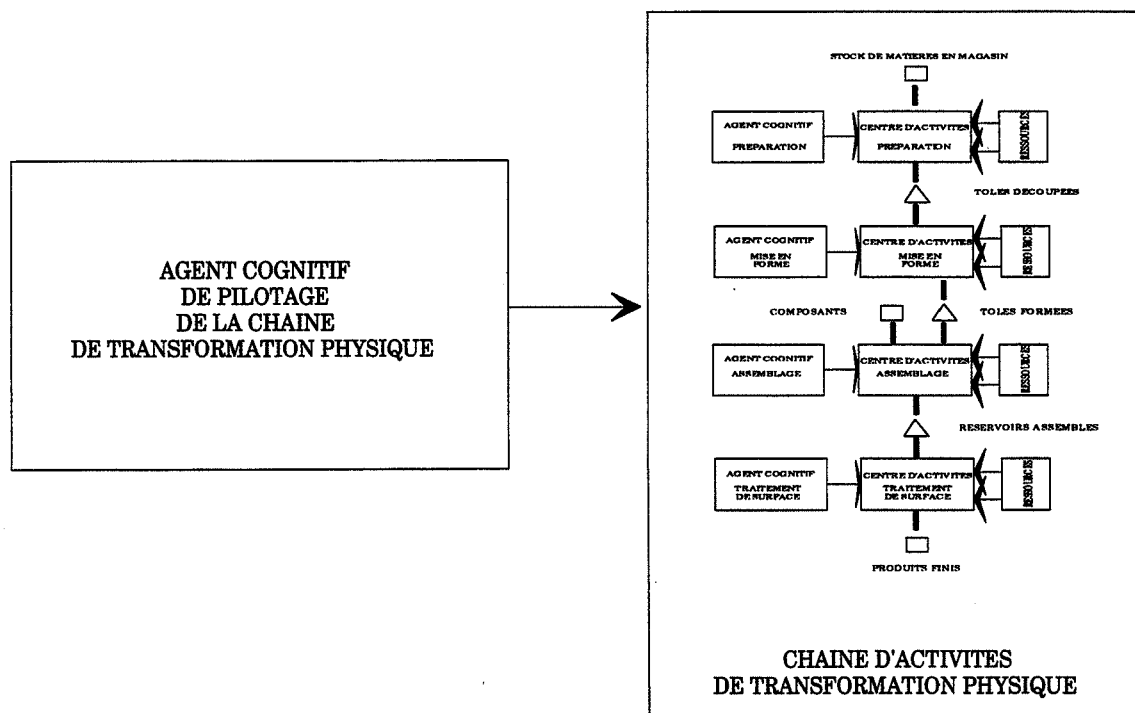


Schéma 50 : Modélisation du processus opérationnel de transformation physique

Dans la configuration organisationnelle ancienne de l'entreprise S., l'agent cognitif de pilotage de la chaîne de transformation physique représente l'activité cognitive du chef de

³ Préparation, mise en forme, assemblage, traitement de surface.

fabrication. Il possède en particulier des méta-connaissances (connaissances sur les savoir-faire des opérateurs) et définit des rationalités évaluatives (par exemple : "performances jugées au rendement") ainsi que des rationalités structurelles ("l'agent cognitif pilotant les presses de mise en forme décide des dates de changement de matrice"). De plus, il perçoit les informations qui constituent la sortie principale de la chaîne de traitement d'informations (liste d'ordres de fabrication par poste) et les transmet hiérarchiquement aux opérateurs après les avoir éventuellement modifiées selon ses intentions propres. Cette relation établit le lien entre la chaîne administrative de gestion de production et la chaîne physique.

Nous allons à présent décrire le niveau supérieur, c'est-à-dire le projet productique, et montrer comment il est représenté dans notre langage de modélisation.

2.2 Représentation du projet productique

Le projet productique de l'entreprise S. est représenté dans le cadre de notre étude par un processus stratégique ayant pour objet l'amélioration des processus opérationnels de traitement d'informations et de transformation physique. Ce processus stratégique, de méta-niveau par rapport aux processus organisationnels qu'il transforme, est formalisé par un agent cognitif de niveau supérieur agissant sur deux processus opérationnels. Nous retrouvons bien à nouveau ici l'idée d'un méta-système, correspondant à un niveau d'organisation supérieur qui englobe un niveau propre et lui donne son sens, selon la définition que nous avons donné du concept d'organisation en niveaux d'intégration, par opposition à la hiérarchie directive⁴ : dans l'entreprise S. les processus opérationnels justifient un projet productique de niveau supérieur, et le projet dynamise en retour les processus opérationnels et leur apporte de nouvelles significations. Le schéma suivant représente ce processus stratégique :

⁴ Cf. *supra* Chapitre 4 section 3, 1.2 .

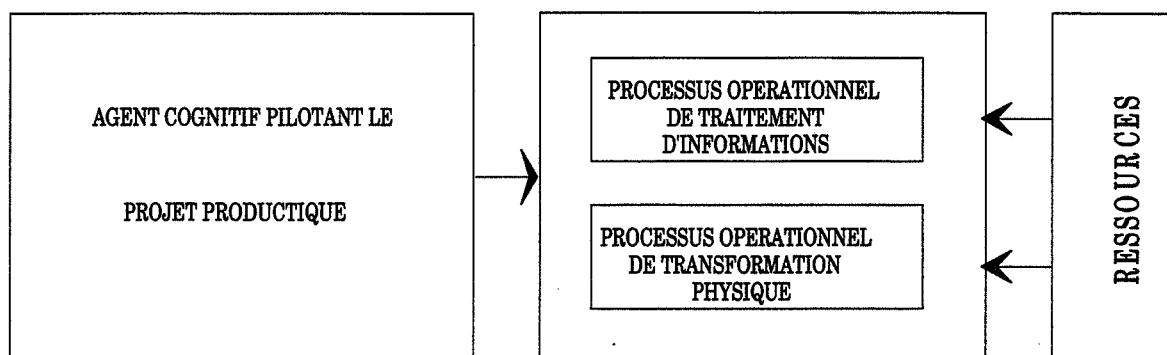


Schéma 51 : Modélisation du projet productique

L'agent cognitif qui oriente le projet ne renvoie pas à un niveau de hiérarchie décisionnelle directive, mais fédère au contraire les activités cognitives des individus situés à différents niveaux de l'organisation et impliqués dans le projet. Pour l'entreprise S., il représente les personnes appartenant au comité de pilotage⁵, et les personnes appartenant aux groupes de réflexion mis en oeuvre durant le projet⁶, réunies ici par des intentions communes de changement.

Dans le cas de l'entreprise S., les actions de transformation sur le processus de traitement d'informations procèdent de la volonté d'intégrer la prise de décision au flux physique de production. En effet, dans la nouvelle forme d'organisation, le système de GPAO subsiste, mais est essentiellement chargé de prévoir la charge globale des mois à venir et de donner des prévisions d'approvisionnement aux fournisseurs. La représentation de la chaîne de traitement d'informations associée au système de GPAO évolue alors vers la forme suivante :

⁵ Le PDG, le Directeur Technique, le Directeur Commercial, le Responsable Comptabilité, le Chef de Fabrication, le Responsable Qualité, le Responsable Logistique.

⁶ Régleurs, Opérateurs, Magasinier, Gestionnaires de données techniques, ...

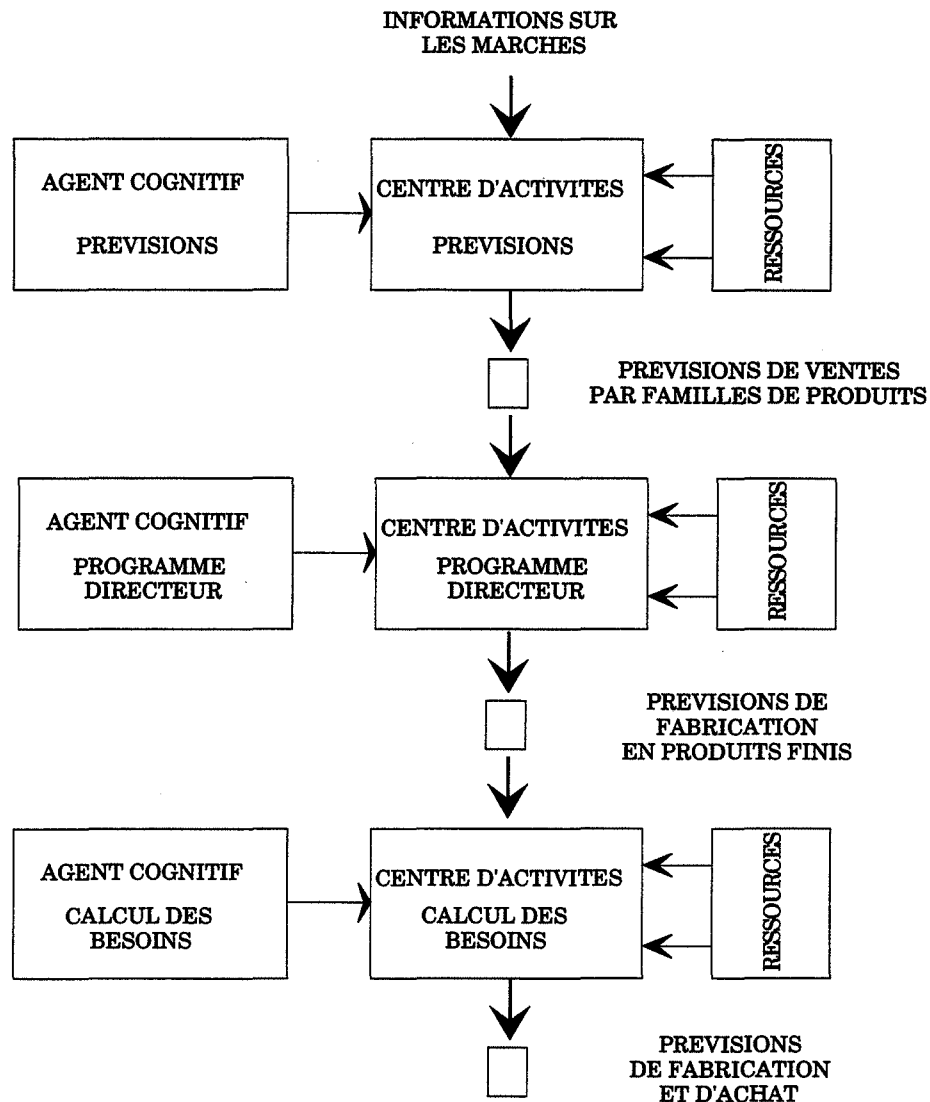


Schéma 52 : Modélisation de la chaîne de traitement d'informations modifiée par le projet productique

Nous voyons que la chaîne n'alimente plus en ordres de fabrication l'agent cognitif pilotant la chaîne de transformation physique. L'activité décisionnelle concernant les lancements en fabrication (que fabriquer et quand fabriquer) est en effet ramenée au plus près de la chaîne physique grâce aux systèmes kanban. Cette évolution se traduit dans notre langage de modélisation par l'intégration du mécanisme kanban dans le fonctionnement des agents cognitifs pilotant les centres d'activités de transformation physique⁷.

⁷ Dans le cas d'une étude destinée à comprendre les mécanismes de fonctionnement des tableaux kanban, le flux des étiquettes pourrait être représenté comme flux principal entrant d'une nouvelle chaîne de traitement d'information.

Dans la nouvelle forme d'organisation, la chaîne de transformation physique a également évolué. Elle est à présent modélisée par le schéma suivant :

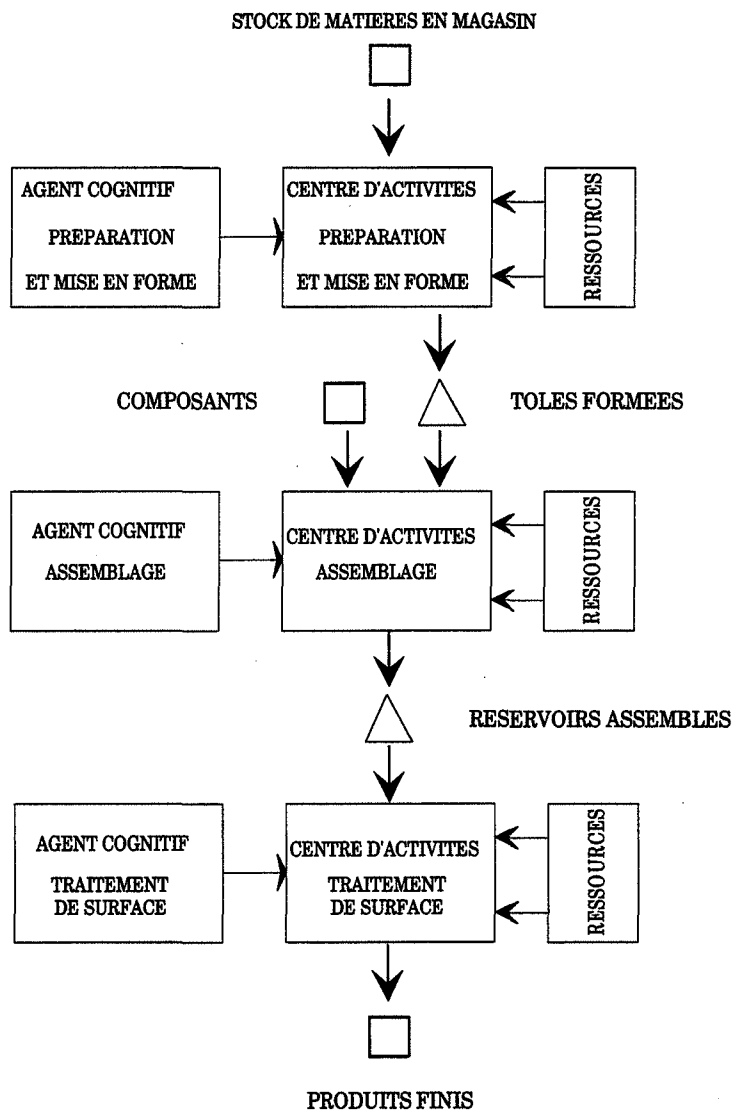


Schéma 53 : Modélisation de la chaîne de transformation physique modifiée par le projet productique

Nous voyons apparaître dans cette nouvelle représentation l'intégration des opérations de préparation et de mise en forme. D'autre part, de fortes évolutions ont eu lieu en terme d'autonomie au niveau des différents agents cognitifs, et en terme de flexibilité de l'outil de

production au niveau des différents centres d'activités. Pour analyser et représenter complètement les changements intervenus sur les processus opérationnels, nous devons donc détailler le comportement cognitif de chaque agent et le fonctionnement de chaque centre d'activités. Nous allons dans ce but compléter notre cartographie statique des processus par une approche simulateur destinée à représenter les comportements dynamiques observés au sein de l'organisation. En effet, comme l'indique J. L. Lemoigne, "modéliser, c'est à la fois identifier et formuler quelques problèmes, en construisant des énoncés, et chercher à résoudre ces problèmes en raisonnant par des simulations. En faisant fonctionner le modèle énoncé, on tente de produire des modèles solutions. Modélisation et simulation, réflexion et raisonnement, sont les deux faces inséparables de toute délibération"⁸. C'est dans cette optique que nous avons conçu un modèle de simulation, prolongement de notre modèle de représentation, que nous allons à présent décrire.

⁸ J. L. LEMOIGNE : *La modélisation des systèmes complexes*, Dunod, 1990, p. 15.

SECTION 2 : DE LA MODELISATION A LA SIMULATION

La simulation est "l'expérimentation sur un modèle"⁹. Ce modèle sera pour nous une maquette issue du modèle de représentation des organisations productives que nous avons établi, et sur laquelle nous expérimenterons des scénarios décrivant des trajectoires productives. En préalable, nous allons détailler le contexte de cette expérimentation en précisant notamment les apports de la simulation en tant que procédure scientifique expérimentale, et en présentant le modèle de simulation retenu ainsi que les techniques employées.

1. Le contexte d'une expérimentation

1.1 Les apports de la simulation

La simulation est "une procédure de recherche scientifique qui consiste à réaliser une reproduction artificielle du phénomène que l'on désire étudier, à observer le comportement de cette reproduction lorsque l'on fait varier expérimentalement les actions que l'on peut exercer sur celle-ci, et à en induire ce qui se passerait dans la réalité sous l'influence d'actions analogues"¹⁰. Le recours aux techniques de simulation est employé lorsque l'expérimentation n'est pas réalisable sur le système réel existant, ou encore lorsque le système réel envisagé n'existe pas encore. Dans le premier cas, l'expérimentation consistera alors en un fonctionnement accéléré sur un système isomorphe, ce qui évitera de perturber le fonctionnement normal du système réel. Dans le second, l'expérimentation permettra de concevoir un système futur actuellement inexistant. Nous voyons que ces deux aspects de la simulation renvoient assez naturellement aux deux facettes du calcul économique que sont le calcul de fonctionnement et le calcul d'investissement.

Il convient toutefois de s'interroger sur l'intérêt et la pertinence de la simulation comme source de nouvelles connaissances. En effet, et comme le note H. Simon, "comment une simulation pourra-t-elle jamais nous dire quelque chose que nous ne sachions pas déjà ?"¹¹. Cette interrogation est liée aux affirmations selon lesquelles d'une part une

⁹ J. P. GREMY : article "Simulations" de l'*Encyclopédia Universalis*, 1980, p. 1043.

¹⁰ *idem*.

¹¹ H. SIMON : *La science des systèmes, science de l'artificiel*, Epi Editeurs, 1974, p. 30.

simulation n'est pas meilleure que les hypothèses sur lesquelles elle repose, et d'autre part, dans le cas d'une simulation informatique par exemple, un ordinateur ne peut faire que ce qu'il est programmé pour faire¹².

Pourtant, H. Simon estime que la simulation peut apporter des connaissances nouvelles dans au moins deux cas de figure. Le premier correspond à la situation des systèmes dont le comportement résulte des interactions entre de nombreuses variables. Par sa capacité de calcul élevée, un simulateur permettra alors d'analyser en fonctionnement accéléré les conséquences de ces interactions, et reliera selon un enchaînement certes déterministe mais aussi parfois irréalisable manuellement, les conditions initiales à leurs implications finales. La simulation permet ainsi de montrer la façon dont un assemblage donné de composants aux comportements individuels connus réagira globalement, ce qui s'applique particulièrement bien dans le cadre des problématiques que nous avons posées pour l'étude des organisations productives. La simulation apparaît alors comme un vecteur d'émergence, favorisant l'apparition de fonctionnalités qui n'ont pas été explicitement programmées et qui résultent de l'interaction entre deux ou plusieurs comportements¹³. L'expérience de simulation permettra ainsi à l'expérimentateur de repérer et d'identifier dans une organisation simulée l'émergence de rôles, l'émergence de stratégies ou l'émergence de structures de contrôle et de coordination.

Le second cas de figure pour lequel la simulation peut apporter des connaissances nouvelles est celui des systèmes pour lesquels nous souhaitons étudier et expliquer des phénomènes non pas à partir des caractéristiques complètes de chaque composant, mais seulement selon quelques unes des particularités fondamentales caractérisant les constituants essentiels. L'expérience sera alors conduite à partir de la simulation de ces quelques constituants jugés dominants pour la problématique posée, en faisant artificiellement abstraction de la présence des autres composants. En permettant d'isoler les constituants qui nous intéressent, la simulation favorise ici l'émergence de connaissances sur la partie étudiée, car elle reflète alors un comportement préservé de l'influence de facteurs externes au champ d'étude. Notons bien cependant que les résultats obtenus à partir d'une simulation effectuée sur une sélection de variables jugées importantes devront être interprétés avec prudence dans le cadre d'un système aussi complexe qu'une organisation productive où un facteur jugé en première approche secondaire peut avoir dans la réalité une influence non négligeable sur le comportement global.

¹² *Idem.*

¹³ Cf. Chapitre 5, section 2, 2.1.

Plus généralement, notre approche de la simulation rejoint le discours que nous avons tenu sur la modélisation¹⁴. En effet, la simulation sera pour nous le prolongement de la modélisation, dans le sens où elle améliorera grâce à son caractère dynamique la capacité du modèle à favoriser la communication pour faire partager les problèmes, et l'aptitude du modèle à générer une interprétation qui oriente les comportements. A nouveau, il ne sera donc pas indispensable que les éléments qui composent l'expérience de simulation constituent une image fidèle et exacte de la réalité pour que le modèle soit valide au sens où nous l'entendons.

A titre d'exemple, l'ensemble des agents cognitifs qui constituent le modèle n'est pas isomorphe à la population d'individus qui compose l'organisation que nous représentons, un agent cognitif pouvant simuler l'activité cognitive commune de plusieurs personnes, ou inversement l'activité cognitive d'une personne pouvant être répartie dans plusieurs agents cognitifs. En revanche, la pertinence de la simulation dépend de sa capacité à faire émerger des connaissances nouvelles auprès de l'observateur de l'expérimentation, ces connaissances constituant les bases des activités de prise de décision au sein de l'organisation. L'étape d'expérimentation prolonge ainsi l'étape de modélisation en ce sens qu'elle participe à l'augmentation de la connaissance sur le réel, favorisant d'une part la recherche d'une solution pour un problème donné, et d'autre part la formulation de problèmes nouveaux. Nous nous retrouvons à nouveau dans une position proche de l'énaction, car la simulation a ici pour rôle de faire émerger un processus permanent de créativité, permettant d'inventer les questions pertinentes à chaque étape d'un problème¹⁵.

1.2 Modèle de simulation et techniques employées

Entre la modélisation par notre langage de représentation d'une réalité perçue et l'exploitation d'une maquette de simulation se trouve une phase d'implémentation qui consiste à réaliser la maquette à partir d'un langage de simulation :

¹⁴ Cf. Chapitre 5, section 1, 1.1.

¹⁵ Cf. Chapitre 4, section 2, 1.1.

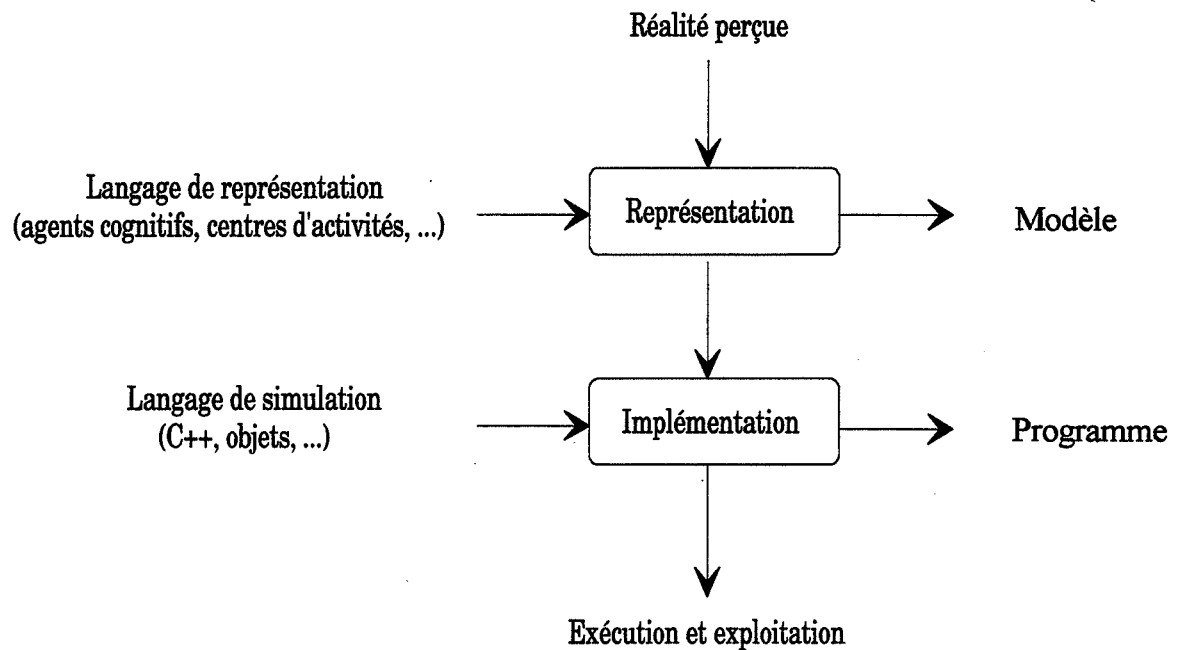


Schéma 54 : Démarche de traduction d'une réalité perçue en maquette de simulation

La réalité perçue est décrite à partir de notre langage de modélisation, puis transcrite à partir d'un langage de simulation en une maquette exécutable. La maquette a été réalisée à l'aide du langage informatique C++ qui est orienté objet, et qui est à ce titre bien adapté pour traduire les concepts d'agent utilisés dans le langage de représentation¹⁶. Les différents agents cognitifs du langage de représentation y sont en effet programmés sous forme d'objets dotés des particularités intrinsèques qui caractérisent les systèmes multi-agents utilisés en intelligence artificielle distribuée¹⁷ : intentions, rationalités, autonomie, communication avec d'autres objets, ...

Dans la maquette que nous présenterons, le fonctionnement interne des agents cognitifs, et en particulier leur système inférent, sera assuré par le déroulement d'un programme impératif et non par la mise en oeuvre d'un système expert. Il est prévu de développer ultérieurement cette fonctionnalité pour améliorer l'ouverture de la maquette et favoriser la simulation des phénomènes d'apprentissage.

¹⁶ La justification de C++ comme langage de simulation adapté pour transcrire le modèle de représentation que nous avons proposé en une maquette de simulation exécutable se trouve dans les travaux de Y. OUZROUT : thèse à paraître en 1996 à l'Ecole des Mines de Saint-Etienne. C'est également Y. Ouzrout qui a écrit le programme de la maquette de simulation.

¹⁷ Cf. Chapitre 5, section 2, 2.1.

La simulation sera menée selon un protocole destiné à assurer la pertinence des résultats en univers aléatoire, en raison de la présence d'une loi normale dans la représentation du marché. En particulier, nous lancerons pour chaque configuration de la maquette plusieurs exécutions qui différeront par les valeurs numériques des variables aléatoires effectivement générées par l'ordinateur. Nous présenterons la moyenne des résultats de ces différentes exécutions, en vérifiant à l'aide d'une analyse de variance que les écarts entre deux moyennes obtenus dans deux cas de figures différents sont bien induits par la différence de configuration de la maquette et non par une dispersion normale de la variable aléatoire. Nous nous attacherons également à simuler le comportement de l'entreprise sur des périodes suffisamment longues pour nous affranchir des régimes transitoires de démarrage et de montée en charge de la production.

2. Description du modèle de simulation

Dans le modèle de simulation, nous retrouverons les deux processus opérationnels que nous avons identifiés comme principaux pour l'entreprise S., car attachés à ses axes de développement stratégique : le processus administratif de traitement d'informations, et le processus physique de transformation de matières premières en produits finis. Nous allons décrire la maquette en présentant le processus stratégique puis les deux processus opérationnels mis en oeuvre¹⁸.

2.1 Processus stratégique

Au niveau de modélisation le plus élevé, nous représentons le comportement dynamique de l'organisation par un processus stratégique, ou projet, constitué d'un agent cognitif de méta-méta-niveau, noté AC², qui transforme les deux processus opérationnels précédents, en consommant des ressources R² :

¹⁸ Les contenus détaillés de chaque agent cognitif (intentions, connaissances, rationalités, décisions), et de chaque centre d'activités (transformations réalisées) sont donnés dans l'annexe 1, page 345.

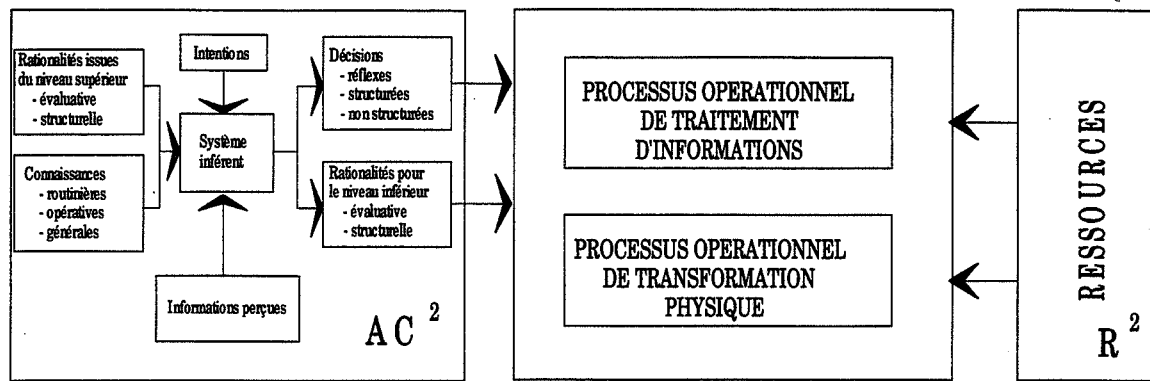


Schéma 55 : Modélisation du processus stratégique expérimental

L'agent cognitif AC^2 ne sera pas programmé au sens informatique dans la maquette de simulation. Il sera cependant présent dans la tête du modélisateur, et nous décrivons à ce titre en annexe 1 son fonctionnement interne de façon à construire les rationalités et les décisions qu'il envoie vers les deux processus opérationnels.

Afin de prendre en compte le caractère continu des trajectoires productives réelles, notre expérimentation évoluera progressivement en trois étapes successives que nous nommerons scénarios dans la suite.

Le premier scénario représente une situation de départ dans laquelle le concept d'autonomie structure l'organisation. Le processus opérationnel de traitement d'informations et le processus opérationnel de transformation physique y sont très cloisonnés, ne communiquent pas entre eux et répondent à des rationalités évaluatives différentes, voire antagonistes : taux de service client (au sens du retard moyen de livraison des commandes) d'un côté, et rendement physique de fabrication de l'autre.

Cette situation, qui fonctionne bien en environnement stable, sera remise en cause par l'injection de bruit dans le système, via le carnet de commandes commerciales. L'agent cognitif AC^2 amènera alors le système dans un second scénario qui induira davantage d'autonomie pour les agents cognitifs pilotant le flux, et qui fédérera les rationalités évaluatives des deux processus opérationnels en un objectif unique de taux de service client.

Enfin, à la suite de dysfonctionnements locaux empêchant d'atteindre globalement cet objectif, et dans une logique d'intégration et de flexibilité associée à une méthode de réingénierie, l'agent cognitif AC^2 supprimera le processus administratif et intégrera les

décisions de fabrication au flux physique sous la forme d'un système kanban. Cela constituera le troisième scénario.

2.2 Processus opérationnel de traitement administratif

Le processus opérationnel de traitement administratif est constitué d'un agent cognitif de méta-niveau, noté AC_1^1 , qui pilote une chaîne d'activités, notée CA_1^1 et constituée de deux centres d'activités : un module de calcul des besoins de type MRP, et un module d'ordonnancement. La finalité assignée à ce processus opérationnel est de fournir une liste d'ordres de fabrication ordonnancée, à partir d'un carnet de commandes client. Ce processus opérationnel consomme des ressources notées R_1^1 , pour assurer la cohésion et l'évolution de la chaîne de traitement d'informations :

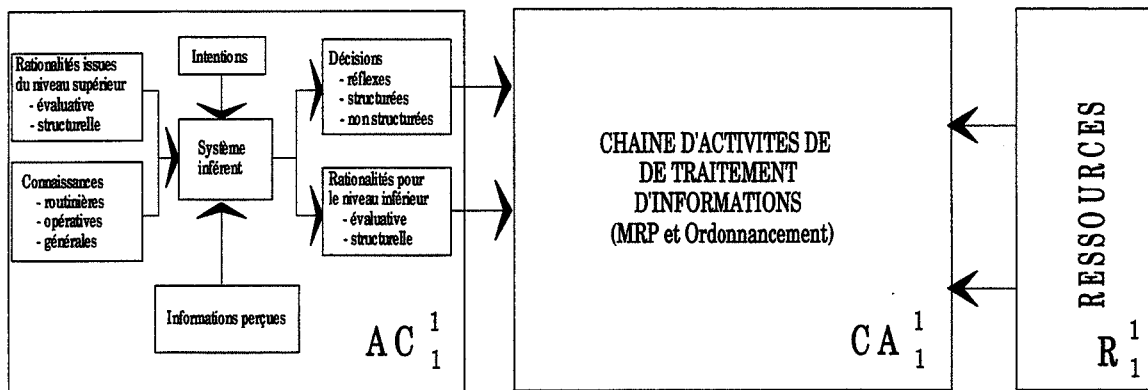


Schéma 56 : Modélisation du processus de traitement d'informations expérimental

La chaîne d'activités CA_1^1 de traitement d'informations est à son tour décomposée en deux centres d'activités : un module de calcul des besoins noté $CA_{1,1}^0$, et un module d'ordonnancement noté $CA_{1,2}^0$, chacun étant piloté par leur agent cognitif de niveau propre : $AC_{1,1}^0$ et $AC_{1,2}^0$. Chaque centre d'activités consomme des ressources propres notées $R_{1,1}^0$ et $R_{1,2}^0$, pour réaliser sa mission de transformation d'informations :

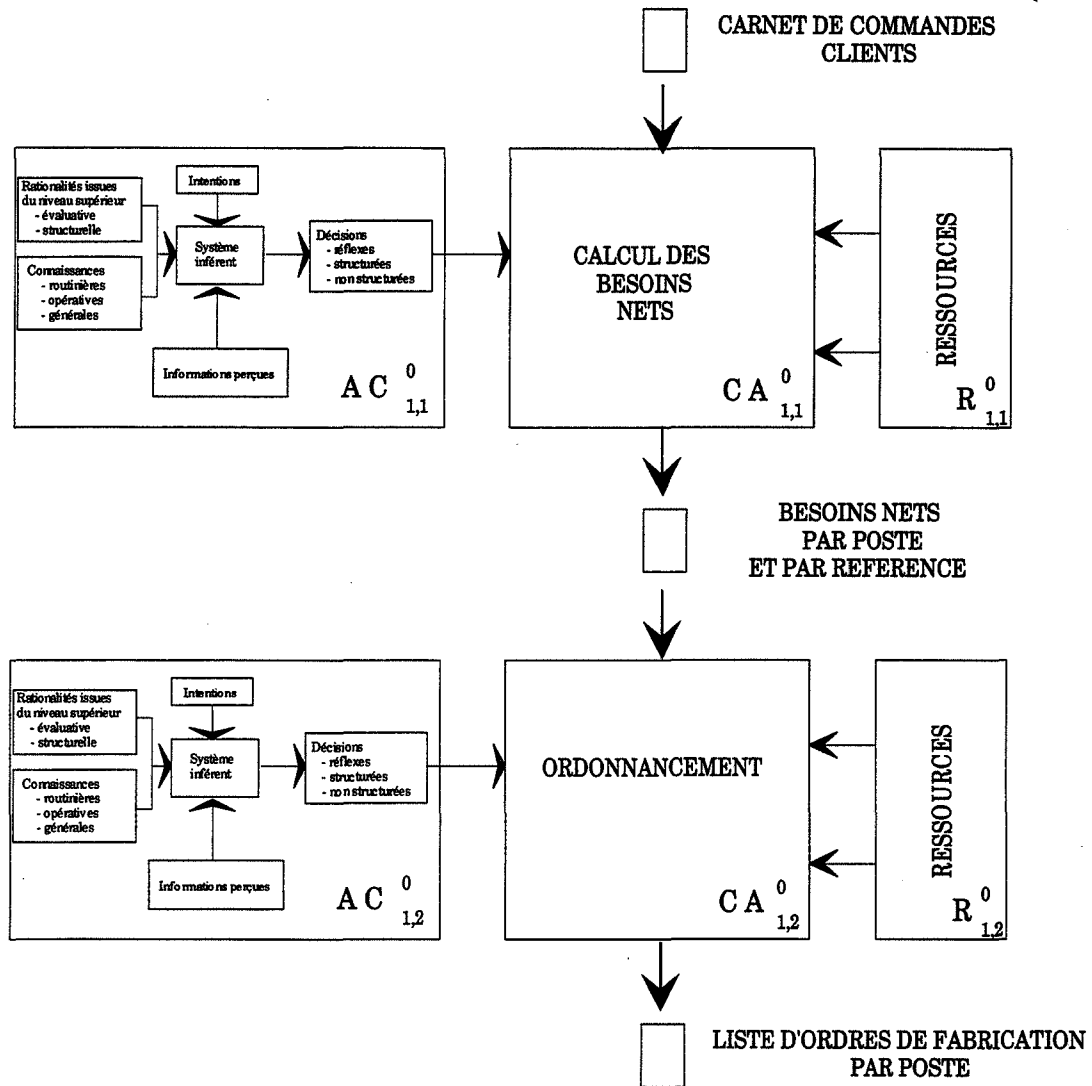


Schéma 57 : Modélisation de la chaîne d'activités de traitement d'informations expérimentale

2.3 Processus opérationnel de transformation physique

Le processus opérationnel de transformation de la matière est constitué d'un agent cognitif de méta-niveau, noté AC_2^1 , qui pilote une chaîne d'activités, notée CA_2^1 . La finalité assignée à ce processus opérationnel est d'assurer la transformation de la matière première en produits finis, et il consomme pour cela des ressources notées R_2^1 :

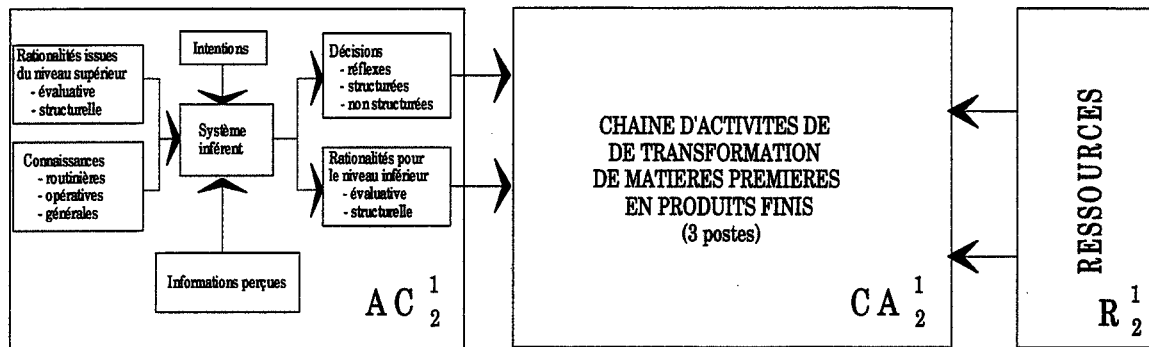


Schéma 58 : Modélisation du processus opérationnel de transformation physique expérimental

La chaîne d'activités CA_2^1 , qui représente le flux physique, est décomposée en trois centres d'activités qui correspondent à chacune des trois opérations de fabrication permettant la transformation des matières en produits finis. Chacun de ces trois centres d'activités, notés $CA_{2,i}^0$, est orienté par un agent cognitif de niveau propre $AC_{2,i}^0$. Chaque centre d'activités consomme des ressources propres notées $R_{2,i}^0$, pour réaliser sa mission de transformation au sein du flux physique.

Dans notre maquette, deux produits différents, notés A et B, sont réalisés à partir de deux matières premières différentes. Les matières premières sont servies depuis un magasin, et les produits en cours de fabrication sont stockés dans des emplacements intermédiaires notés $S_{A,i}$ et $S_{B,i}$, situés en aval de chaque poste $CA_{2,i}^0$. Les produits finis stockés dans les emplacements $S_{A,3}$ et $S_{B,3}$ sont consommés en fonction d'une loi de marché.

Le schéma suivant détaille les trois centres d'activités de la chaîne de transformation physique :

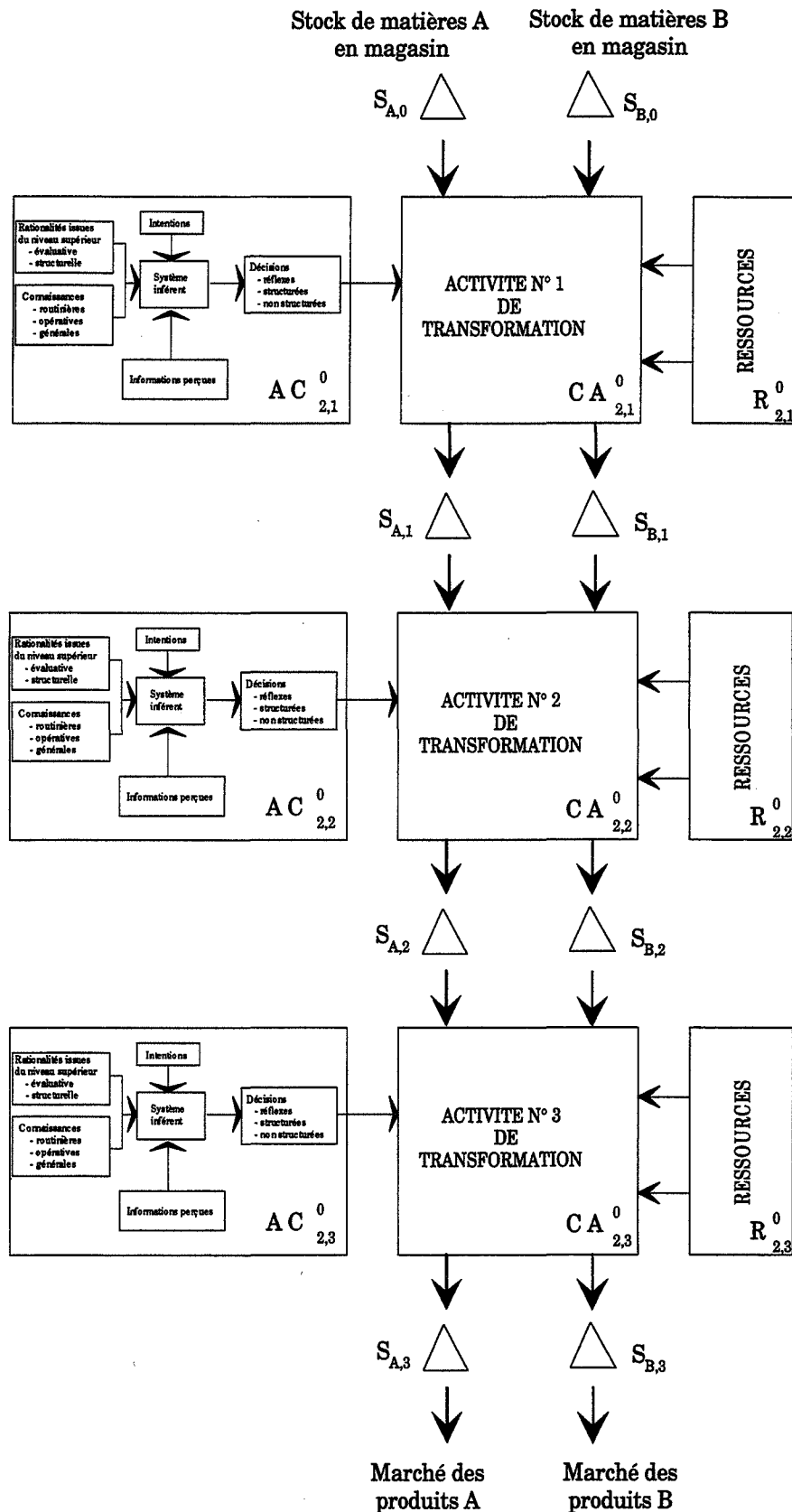


Schéma 59 : Modélisation de la chaîne d'activités de transformation physique expérimentale

Remarquons que les ressources représentées par notre langage de modélisation renvoient bien à l'approche du calcul des coûts fondée sur l'analyse d'activités que nous avons présentée comme une alternative à la comptabilité analytique traditionnelle fondée sur le système de clefs de répartition.

En effet, la représentation économique d'une entreprise à travers ses activités part de l'idée selon laquelle les produits ne consomment pas des coûts mais des activités, et que ce sont ces activités qui consomment des coûts¹⁹. Ce déplacement de l'analyse depuis les produits vers les activités est ici favorisé par le fait que nous représentons à chaque niveau de modélisation les coûts des ressources effectivement mises en oeuvre. Cette analyse suppose cependant l'établissement des lois de variation de consommations de ressources en fonction de la production au sein de chaque activité.

Dans le cadre de notre simulation, les coûts des ressources seront assimilés pour chacun des trois centres d'activités physiques $CA_{2,i}^0$ à des coûts variables proportionnels à la durée d'utilisation effective, c'est à dire au nombre d'heures d'utilisation du poste pendant la semaine²⁰. Les coûts des centres d'activités administratifs (calcul des besoins et ordonnancement) seront fixes quelles que soient leurs activités respectives. Le coût des ressources propres R_2^1 nécessaires au processus physique de transformation sera fixe, ainsi que le coût des ressources propres R_1^1 nécessaires au processus administratif²¹. Enfin, les ressources R^2 consommées par le processus stratégique généreront des coûts fixes indépendamment de l'activité effectivement déployée par le projet.

L'ensemble des coûts que nous venons de définir, ainsi que la valorisation de la production par le marché, nous permettront de construire un indicateur financier qui contribuera à caractériser la performance de l'organisation que nous allons simuler.

¹⁹ Cf. *supra*, Chapitre 4, section 3, 2.1.

²⁰ Le chiffrage de ces différents coût est donné en annexe 2.

²¹ Par construction, le coût total de fonctionnement d'un processus est la somme des coûts des activités qui y sont regroupées et des coûts de niveau propre.

SECTION 3 : DYNAMIQUES D'APPRENTISSAGE ORGANISATIONNEL

L'utilisation d'un langage de modélisation structuré a permis de construire une représentation explicite fondée sur les concepts d'activités et de processus. L'utilisation de la simulation va nous permettre d'avancer depuis cette représentation collective vers la mise en place de cartes organisationnelles aptes à guider l'action au niveau de chaque acteur. En effet, l'apprentissage organisationnel, défini comme "processus par lequel une organisation acquiert des connaissances nouvelles en tant qu'organisation"²², requiert des représentations explicitées et partagées au niveau organisationnel, appelées "cartes organisationnelles" par C. Argyris et D. Schön²³. Ces cartes organisationnelles sont en particulier tracées à l'aide de retours d'expérience individuels ou locaux obtenus à partir des actions des différents agents de l'organisation. Nous pensons que la simulation est apte à alimenter ces processus d'apprentissage organisationnel car elle offre la possibilité d'explorer un grand nombre de voies dans le changement organisationnel, et permet un retour d'expérience rapide. Dans ce sens, la simulation est un élément de la chaîne que P. Lorino qualifie de "séquence de développement organisationnel" : étude, spécification du besoin de changement, simulation, expérimentation pilote, définition d'une politique de changement, mise en oeuvre²⁴. Nous allons décrire ce type de séquences de développement dans le cadre de l'entreprise que nous avons modélisée, et nous montrerons comment la simulation peut effectivement alimenter les processus d'apprentissage organisationnel.

1. Etablissement de cartes organisationnelles autour de situations d'allonomie et de logiques de rendement

Nous allons préciser dans un premier temps les indicateurs de performances retenus, puis nous nous situerons dans une situation d'allonomie et nous caractériserons les performances économique de notre organisation simulée. Nous exécuterons ensuite la phase simulatoire d'une séquence de développement organisationnel tirée par un objectif de rendement au niveau physique, et nous analyserons le retour d'expérience donné par le modèle de simulation. Nous montrerons que la mise en oeuvre de processus de

²² P. LORINO : *Comptes et Récits de la Performance : Essai sur le pilotage de l'entreprise*, Editions d'organisation, 1995, p. 258.

²³ C. ARGYRIS et D. SCHÖN : *Organizational learning : a theory of action perspective*, Addison-Wesley Publishing Company, 1978.

²⁴ P. LORINO : *Comptes et Récits de la Performance*, op. cit., p. 268.

communication entre agents cognitifs du modèle permet d'explorer des voies d'amélioration organisationnelle, et permet de faire partager auprès des observateurs du modèle une vision commune de l'impact des rationalités sur le comportement de chaque acteur.

1.1 Système d'indicateurs multi-critères et performance économique dans le modèle de simulation

Pour la première phase d'expérimentation, la maquette a été configurée selon un premier scénario qui est caractérisé par un fort degré d'allonomie. Les ordres de fabrication sont déterminés par la chaîne administrative à partir du carnet de commande commercial, et les agents cognitifs qui pilotent les centres d'activités de transformation physique suivent exactement ces ordres. Nous avons suivi trois indicateurs qui reflètent les performances de l'organisation suivant les trois niveaux distingués par J. H. Jacot : un niveau physique, un niveau marchand, et un niveau financier²⁵.

Le niveau physique est représenté par un indicateur de rendement des centres d'activités de la chaîne de transformation physique. Il est défini par le ratio entre le temps standard théorique nécessaire pour réaliser la production de la semaine (nombre de pièces effectivement produites dans la semaine * temps gamme unitaire) et le temps d'ouverture du centre. Par temps d'ouverture, nous entendons la somme des temps d'usinage, de changement d'outil et d'attente de lot. Une fois le programme de la semaine terminé, le centre d'activités est considéré comme disponible pour des tâches liées à d'autres produits, et le compteur de temps d'ouverture s'arrête pour la ligne de produit qui nous intéresse. Le rendement physique obtenu est donc très représentatif de l'organisation du travail, non seulement sur le centre d'activités, mais également sur l'ensemble de la chaîne d'activités. En particulier, une augmentation des tailles de lots améliore cet indicateur de rendement en diminuant le nombre de changements d'outils dans la semaine. En revanche, une diminution des stocks de sécurité détériore l'indicateur car les attentes dues à l'absence de pièces en amont d'un poste augmentent.

Le niveau marchand est représenté par un élément de la composante hors-prix de la compétitivité. Nous suivons pour cela un taux de service client apprécié selon un indicateur de retard moyen de livraison des produits finis, mesuré en heures. A chaque heure de l'horloge de simulation, un processus représentant le marché vient prendre livraison d'une

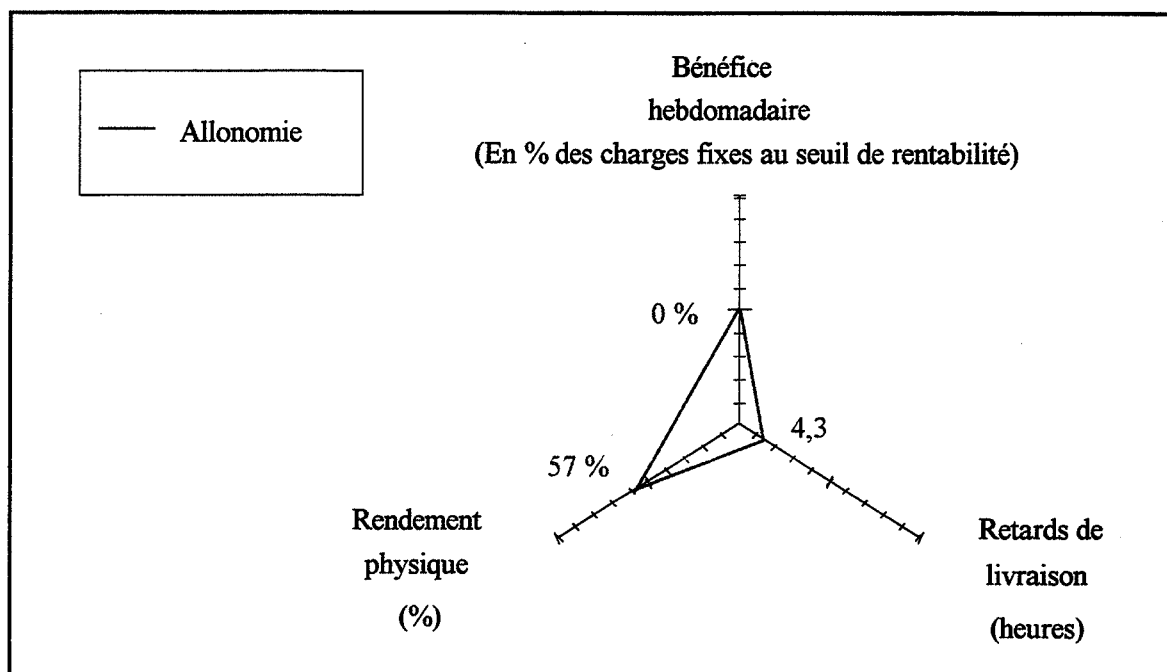
²⁵ Cf. Chapitre 4, section 1, 2.2

quantité de produits A et de produits B selon une loi normale de moyenne constante, et d'écart type sur lequel nous agissons au cours de la simulation de façon à modifier la quantité de bruit injectée dans le système. Si une partie des produits n'est pas disponible à l'heure de livraison, un compteur de points de démérite est incrémenté de la quantité non disponible, et cette quantité est reportée sur l'heure suivante pour permettre à l'entreprise de rattraper son retard dans la semaine. A la fin de la semaine, la demande non servie est perdue, et le compteur de points de démérite est divisé par la quantité totale effectivement vendue, ce qui donne un retard moyen en heures sur la semaine.

Au niveau financier, nous avons défini un objectif de profit qui est mesuré par la différence entre les charges fixes et la marge sur coûts variables. Les charges fixes correspondent aux ressources fixes consommées par les centres d'activités de la chaîne administrative, par les deux processus opérationnels et par le projet productique. La marge sur coût variable est calculée en soustrayant à la marge sur coût matière les coûts variables dus aux ressources consommées par les centres d'activités physiques, proportionnellement à leur durée d'utilisation. Nous n'interviendrons ni sur les coûts ni sur les quantités unitaires des matières premières incorporées dans la fabrication du produit, ni sur le prix de vente des produits finis, de sorte que les facteurs qui influenceront notre indicateur financier seront la quantité de produits vendus et la durée d'ouverture effective des postes de travail.

Nous avons effectué une série de 20 simulations sur une durée de 20 semaines et selon les caractéristiques définies dans le premier scénario²⁶. Nous représentons sur un schéma unique les performances physique, marchande et financière obtenues, afin de comparer graphiquement l'efficacité, l'efficience et l'effectivité de l'organisation d'un scénario à un autre. Le bénéfice hebdomadaire y est représenté en pourcentage de la valeur des charges fixes au seuil de rentabilité, ce permet d'obtenir un indicateur normé qui évoluera de part et d'autre du point mort. Le retard est représenté en heures, selon une échelle inverse de sorte que les trois indicateurs se déplacent tous vers l'extérieur lorsqu'ils s'améliorent.

²⁶ Voir l'annexe 2, p. 359 pour la justification de la durée et du nombre de simulations.



Graphique 12 : Performances physique, marchande et financière en situation d'allonomie.

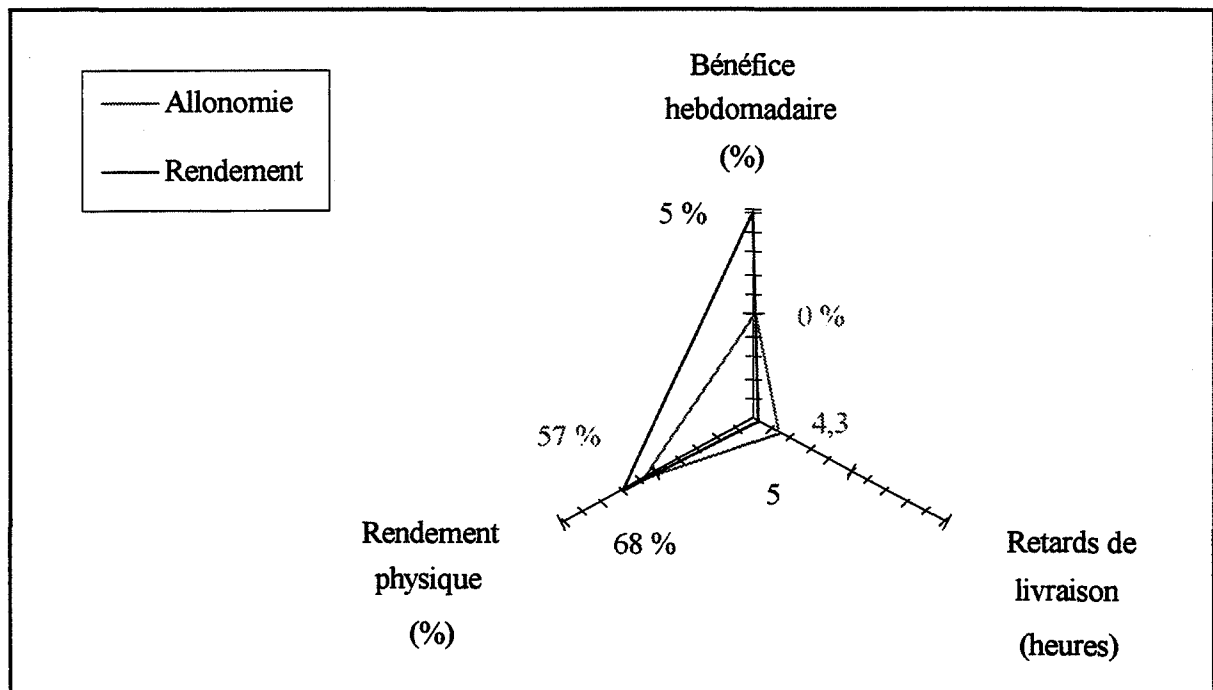
L'indicateur financier affiche un profit nul qui indique que nous nous situons juste au niveau du point mort, tandis que l'indicateur marchand affiche 4,3 heures de retard moyen de livraison (le point origine correspond à 5 heures de retard, et l'extrémité représente zéro retard).

Le niveau moyen d'efficacité de l'organisation est ici de 57 %, ce qui signifie que près de la moitié du temps d'ouverture des centres d'activités est passée en changements d'outils et en attentes de pièces²⁷. Or dans cette configuration de la maquette, les changements d'outils prennent 2 heures, et les tailles de lots sont de 50 pièces. La production hebdomadaire moyenne (qui est ici de 190 pièces) doit donc être réalisée en 4 ordres de fabrication, ce qui génère 4 changements d'outils. Le temps de production moyen est donc de 18,7 heures (10 centièmes d'heure par pièce), et le temps de changement d'outil est de 8 heures (4 * 2 heures), ce qui justifie en partie le faible rendement physique des centres d'activités²⁸.

²⁷ 70 % pour le centre 1, 56 % pour le centre 2, et 48 % pour le centre 3, valeurs décroissantes conformément à la règle OPT décrite en annexe 2.

²⁸ Le calcul $18,7 / (18,7 + 10)$ donne 70 % c'est-à-dire exactement le rendement du premier poste, qui n'attend pas les matières premières car elles ont été stockées au départ en quantités suffisantes pour les besoins de la production. Les écarts de rendement sur les autres postes proviennent des temps d'attente dus aux phénomènes de désynchronisation.

Nous imaginons à présent que l'agent cognitif de méta-niveau qui pilote la chaîne de transformation des matières premières en produits finis souhaite améliorer le rendement physique des postes de production, car sa rationalité évaluative est fondée sur un critère de rendement. Aussi, à partir de la connaissance selon laquelle une diminution du nombre de changements d'outil améliore le rendement physique, nous reconfigurons cet agent cognitif afin qu'il réorganise les ordres de fabrication qu'il reçoit en provenance de la chaîne de traitement administrative, en regroupant tous les ordres de fabrication concernant les produits de type A, puis tous les ordres concernant les produits de type B. Il transmet alors cette nouvelle liste aux agents cognitifs qui pilotent les machines. Les performances de l'organisation évoluent alors de la façon suivante :



Graphique 13 : Performances physique, marchande et financière en situation d'allonomie simple, et selon un objectif de rendement.

Nous observons une amélioration nette du rendement physique qui passe de 58 % à 68 %, ce qui satisfait l'agent cognitif qui pilote la chaîne physique et qui est jugé selon ce critère de rendement. Dans le même temps, l'indicateur financier dépasse le seuil de

rentabilité en raison d'une hausse de la production vendue (moins de temps est consacré aux changement d'outils). Nous constatons en revanche une détérioration du retard moyen qui passe de 4,3 heures à près de 5 heures. Ce résultat ne convient naturellement pas à l'agent cognitif qui pilote la chaîne administrative et qui est jugé selon l'indicateur marchand²⁹.

Par l'exécution de la phase simulatoire d'une séquence de développement organisationnel tirée par un objectif de rendement au niveau physique, nous donnons ici aux acteurs d'une organisation productive une représentation partagée et collective apte à guider l'action à l'endroit même où elle se déroule. Nous leur donnons les moyens de définir et de contrôler leurs propres actions, d'exprimer les conséquences de décisions locales sur les performances globales et multi-critères de l'ensemble de l'organisation. Ici, la simulation de l'organisation du travail le long du flux physique de production permet d'éclairer les effets des rationalités évaluatives sur la performance globale du système.

En proposant ce modèle qui relie de façon dynamique les composantes physique, marchande et financière de la performance économique, et qui associe l'approche coût et l'approche valeur, nous favorisons donc l'établissement de cartes organisationnelles en situant l'expérience individuelle et locale dans la démarche globale de l'organisation productive. Nous mettons ici en acte un modèle de valorisation économique qui permet d'orienter les comportements et qui joue le rôle d'un système d'indicateurs de performance dans la mesure où il donne à l'organisation les moyens d'évaluer les conséquences de décisions locales sur le fonctionnement global.

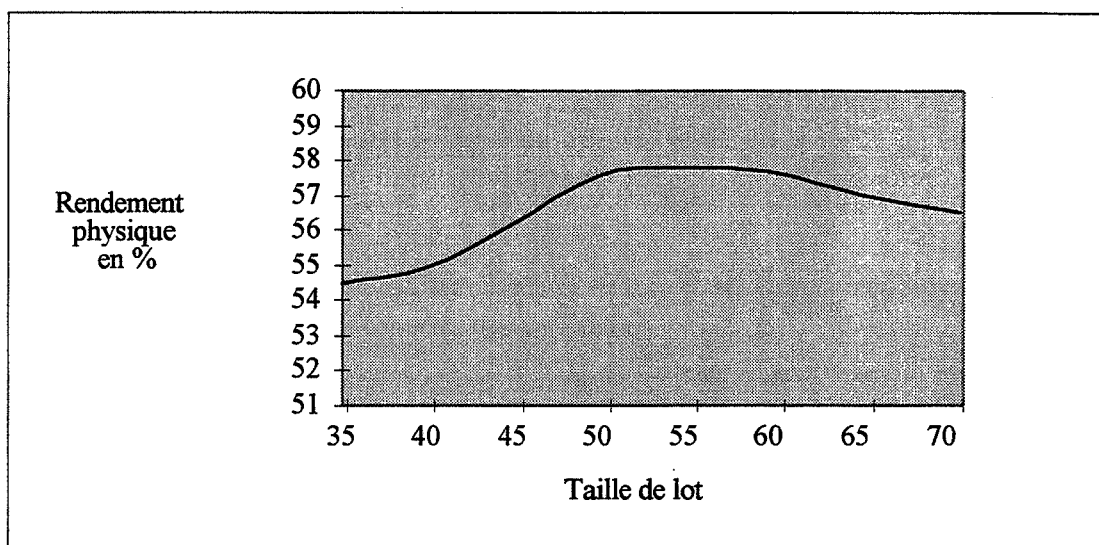
Pour étudier davantage l'impact des rationalités évaluatives comme outil d'orientation de l'action, nous allons à présent développer les capacités de communication de nos agents cognitifs et mettre en oeuvre une démarche d'apprentissage collectif.

1.2 Communication entre agents cognitifs et apprentissage autour du flux physique

A partir de la situation d'allonomie précédente, nous imaginons à présent une démarche d'auto-apprentissage de la maquette qui va essayer de définir elle-même une taille de lot qui convienne à la fois à l'agent cognitif de la chaîne physique et à l'agent cognitif de la chaîne administrative. Cette démarche procédera par essai-erreurs, et utilisera les possibilités de communication entre les agents pour converger vers un résultat satisfaisant.

²⁹ Un calcul d'intervalle de confiance nous permet de vérifier que les résultats obtenus sont significatifs, c'est-à-dire que la détérioration de l'indicateur de délai est bien la conséquence de l'objectif local de rendement, et non pas le résultat d'un tirage aléatoire défavorable (la probabilité de ce dernier cas de figure est ici de l'ordre de 10^{-13}).

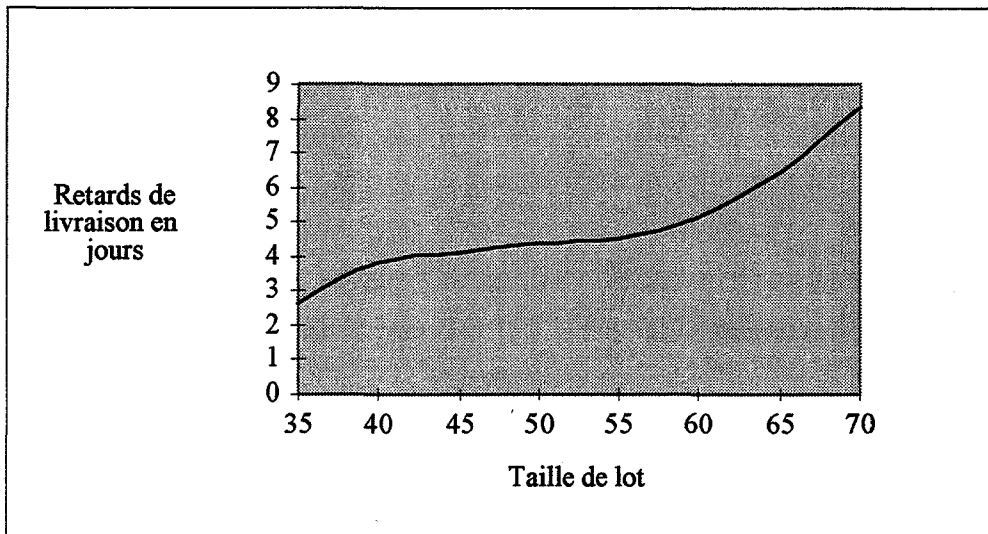
Pour cela, nous amorcerons une première semaine de simulation avec une taille de lot initiale qui favorise l'indicateur marchand, et nous laisserons à l'agent cognitif qui dirige le flux physique le soin de dire à l'agent cognitif administratif s'il est satisfait par la taille de lot choisie ou bien s'il souhaite qu'elle soit diminuée pour améliorer le rendement physique sur lequel il est jugé. L'agent cognitif administratif proposera alors une nouvelle taille de lot, et la maquette enchaînera une nouvelle semaine de simulation. La simulation s'arrêtera d'elle-même lorsque la zone de satisfaction de l'agent physique sera atteinte, ou bien lorsque la zone de satisfaction de l'agent administratif sera dépassée. Auparavant, et pour prévoir la convergence de la démarche, nous déterminons par une série de simulations la courbe expérimentale de rendement physique en fonction de la taille des lots.



Graphique 14 : Rendement physique moyen en fonction de la taille des lots

La forme concave de la courbe de rendement physique moyen en fonction de la taille des lots reflète un double phénomène. Pour des lots de petite taille, le temps passé en changements d'outils est important, ce qui dégrade le rendement physique. Pour des lots de grande taille, les temps d'attente de lot au poste suivant deviennent élevés, ce qui dégrade également l'indicateur de rendement. Entre ces deux extrêmes se trouve une plage satisfaisante au sens de l'efficacité physique de production.

Nous déterminons ensuite, et toujours par une série de simulations, la courbe expérimentale de retard moyen de livraison :

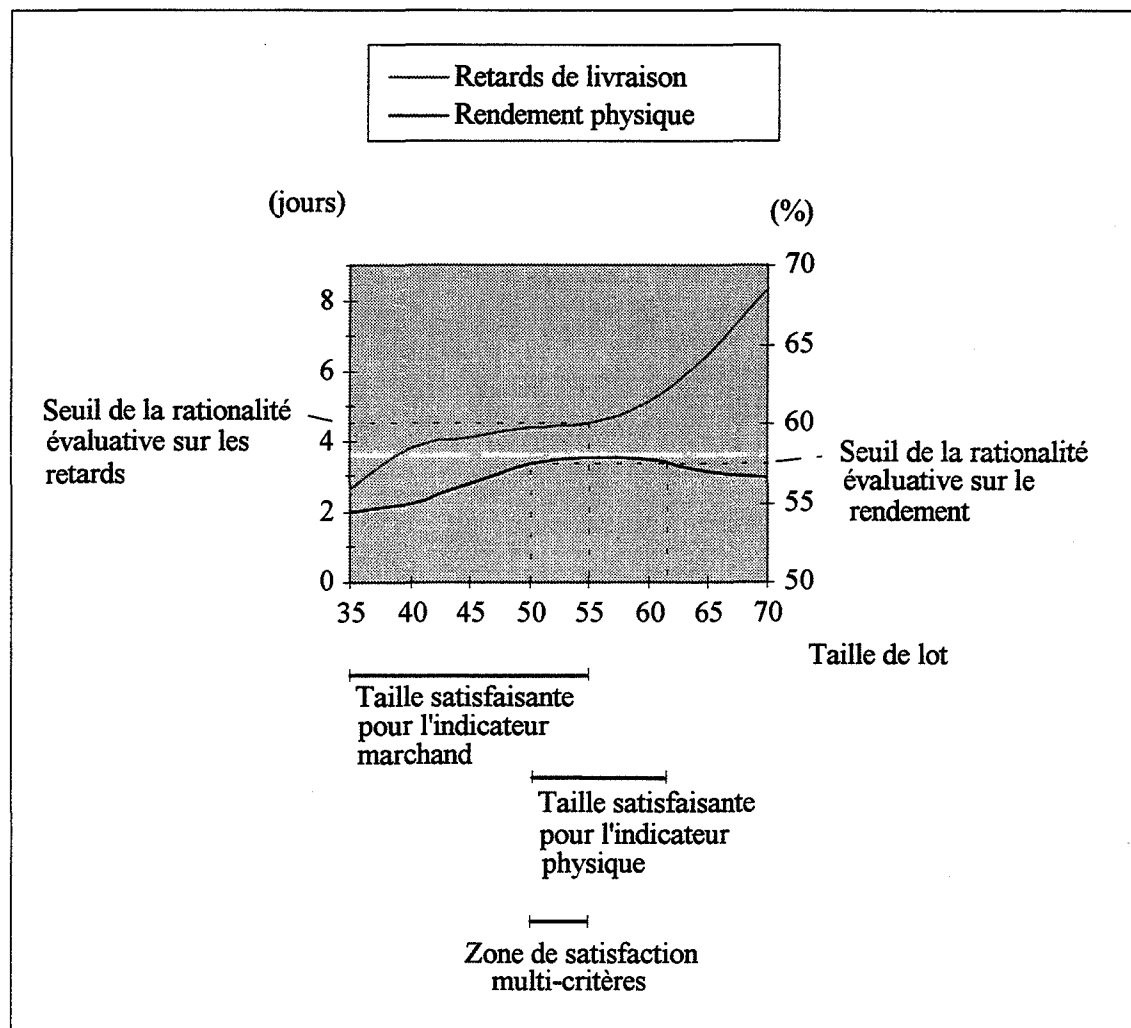


Graphique 15 : Retards de livraison moyens en fonction de la taille des lots

La courbe des retards de livraison en fonction de la taille des lots est monotone et croissante. Le choix de petites tailles de lot permet en effet de disposer à chaque heure d'un peu de chaque produit et de limiter ainsi les ruptures de livraison.

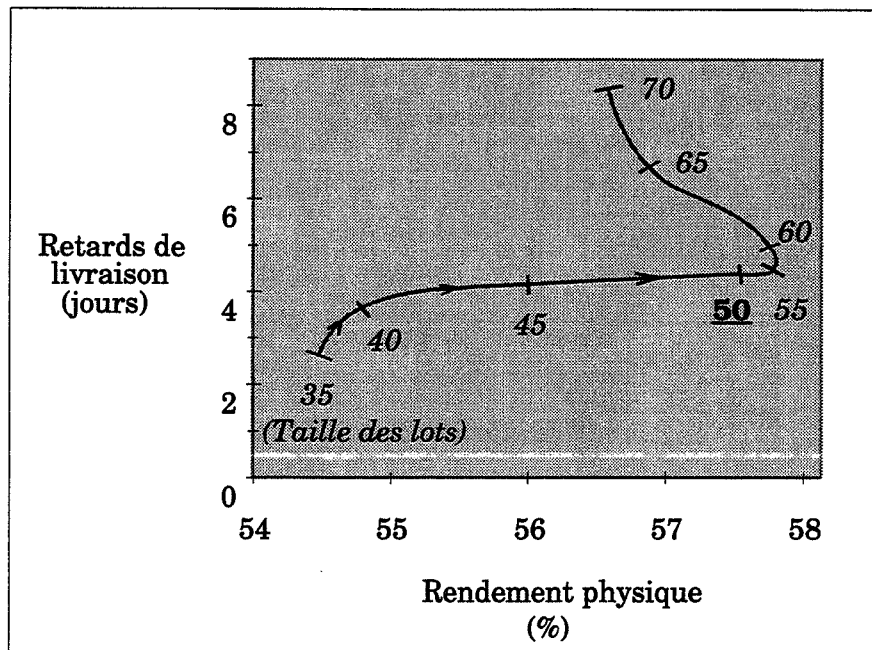
Nous allons à présent utiliser ces courbes pour régler les seuils des rationalités évaluatives des agents cognitifs AC_1^1 de pilotage de la chaîne administrative, et AC_2^1 de pilotage du flux physique. En effet, l'agent cognitif qui pilote la chaîne administrative est jugé selon l'indicateur de retard, tandis que l'agent cognitif qui pilote le flux de production est jugé selon le rendement physique. Ces deux indicateurs étant antagonistes dans notre maquette de simulation, un accord entre les deux agents cognitifs interviendra sur la taille des lots à condition qu'un recouvrement existe entre les deux zones de satisfaction.

Comme le montre le graphique 16, nous configurons les seuils des rationalités évaluatives à 4,5 jours de retard maximum pour l'agent administratif et à 57 % de rendement moyen minimum pour l'agent du flux physique, afin de rendre possible une consensus sur le choix des tailles de lot :



Graphique 16 : Représentation des zones de satisfaction des agents cognitifs en fonction de la taille des lots

Nous lançons ensuite la maquette de simulation, en l'initialisant avec une taille de lot de 35 pièces, et en insérant dans l'agent cognitif administratif la connaissance qui énonce qu'une incrémentation par pas de 5 pièces sur les tailles de lot permet d'améliorer progressivement le rendement physique. Le processus de communication entre les deux agents cognitifs, dirigé par les rationalités évaluatives de chaque agent et par leur intention propre de satisfaire cette rationalité, permet à l'organisation simulée de converger vers une taille satisfaisante de 50 pièces :



Graphique 17 : Sentier d'évolution vers une taille de lot satisfaisante par processus de communication entre agents cognitifs.

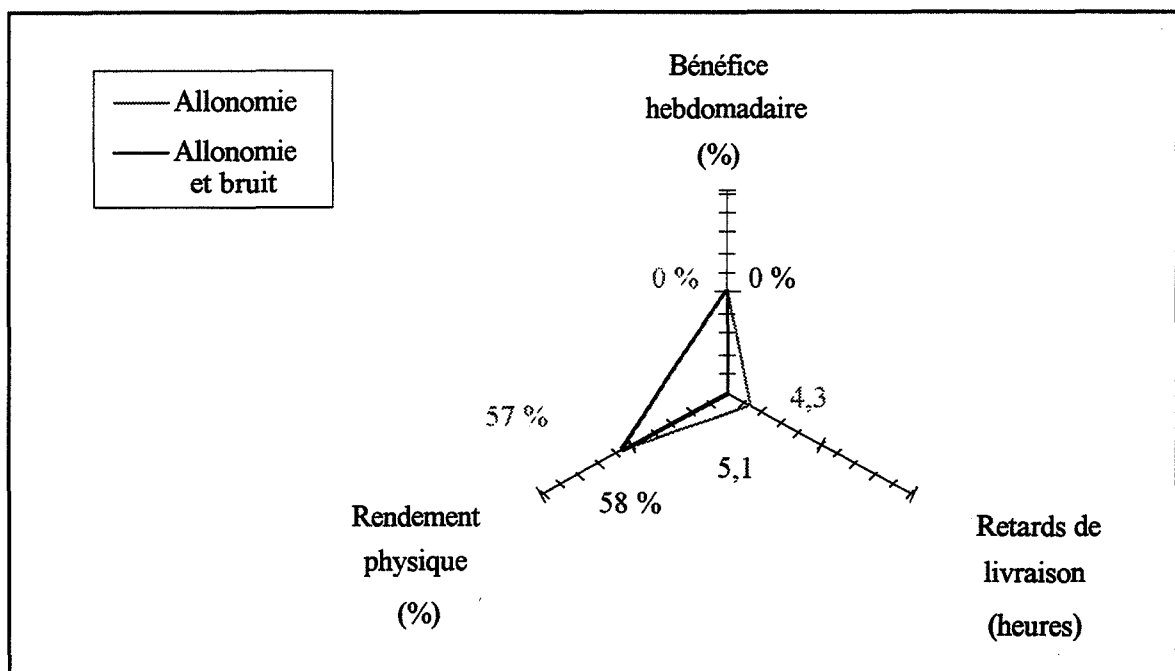
Nous voyons apparaître ici l'intérêt d'une modélisation utilisant les concepts d'intelligence artificielle distribuée, et mettant en scène des agents cognitifs. Considérer que la performance de l'entreprise compétence provient de l'intelligence individuelle et collective que les acteurs sont capables de développer dans la situation événementielle dans laquelle ils sont placés impose en effet de modéliser les processus dynamiques de communication et les activités cognitives des acteurs pour représenter correctement les leviers de la performance. Dans le cas présent, la communication entre les deux agents sur leurs niveaux de satisfaction respectifs, et la volonté de coopération de l'agent cognitif administratif ont permis de sortir d'une situation globale non satisfaisante en terme de performance multi-critères. Nous avons ainsi enrichi la carte organisationnelle de l'entreprise en y indiquant les effets possibles d'une politique de communication. Nous allons préciser davantage cette carte organisationnelle en explorant les possibilités d'évolution progressive de l'organisation vers l'autonomie des acteurs et vers la mise en place d'un système à flux tiré.

2. Vers des situations d'autonomie et de flux tiré

2.1 Autonomie des acteurs et performance de l'organisation

A partir de la situation du premier scénario, dans lequel les agents suivent exactement les ordres de fabrications calculés par la chaîne administrative, nous allons déstabiliser le fonctionnement du système en y injectant du bruit afin de dégrader l'indicateur marchand de retard moyen de livraison. Pour cela, nous augmentons la variance de la loi normale qui modélise le carnet de commande en produits finis. Nous représentons ainsi une évolution de l'environnement de l'organisation vers davantage d'incertitude et d'instabilité, conformément à l'analyse conduite au chapitre 3 sur le nouveau contexte industriel.

La performance globale qui résulte des nouvelles caractéristiques du marché est la suivante :



Graphique 18 : Performance physique, marchande et financière, en environnement stable et instable, en situation d'allonomie.

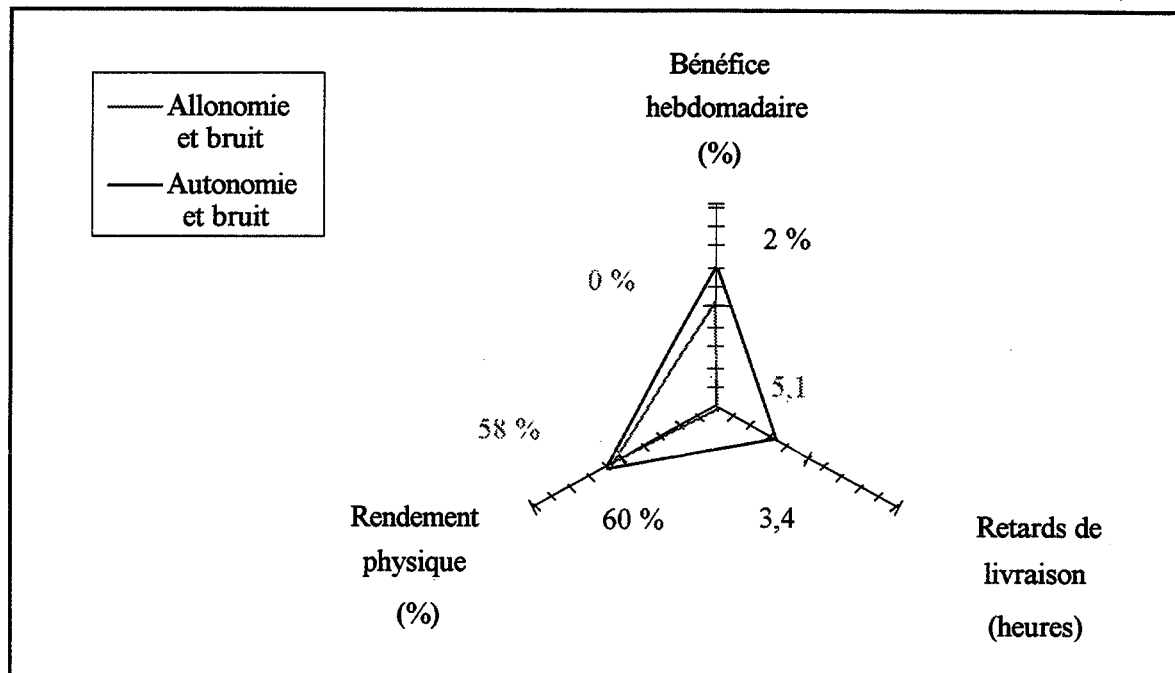
Nous voyons que l'indicateur marchand de retard moyen de livraison se détériore puisqu'il passe de 4,3 heures à plus de 5 heures. L'indicateur de rendement physique n'est en revanche pas modifié car la perturbation est en aval de la chaîne de fabrication, pas plus que l'indicateur financier car d'une part la capacité moyenne de la chaîne est inchangée, et d'autre part la moyenne de la loi normale qui génère le carnet commercial a été conservée, de sorte que les quantités moyennes hebdomadaires demandées soient comparables.

Conformément à l'analyse de H. Atlan³⁰, nous pouvons à présent considérer que les perturbations reçues par le système à travers le carnet de commandes sont positives dans la mesure où elles enrichissent la quantité d'information du système et induisent une remise en cause de ses modes de fonctionnement.

Ici, l'instabilité accrue de la demande commerciale permet au système de mesurer les limites de son fonctionnement en situation d'allonomie, à condition qu'il possède la capacité de réagir en se restructurant. En effet, un simple réglage de la taille des lots ne permet plus à présent de satisfaire simultanément les rationalités évaluatives des agents cognitifs des deux processus opérationnels, car le système est trop perturbé par son environnement. Il doit alors rechercher une nouvelle forme d'organisation pour retrouver un niveau de performance global satisfaisant.

Pour cela, l'organisation doit évoluer vers davantage d'autonomie et vers une première étape de décentralisation des décisions plus près du flux physique de production. Nous modifions donc dans la configuration de la maquette les rationalités structurelles des agents cognitifs qui pilotent les machines, de sorte qu'ils puissent à présent réorganiser eux-mêmes les listes d'ordres de fabrication générées par la chaîne administrative. Pratiquement, cela signifie que ces agents cognitifs possèdent à présent un algorithme qui leur permet d'aller choisir le premier ordre de fabrication effectivement réalisable en fonction des stocks amonts de pièces A et de pièces B. Nous réduisons ainsi les temps d'attente de lots, et les performances globales obtenues sont les suivantes :

³⁰ Cf. Chapitre 4, section 3, 1.1.



Graphique 19 : Performance physique, marchande et financière, en environnement instable, en situation d'allonomie et en situation d'autonomie partielle.

Nous observons une amélioration selon les trois critères de l'évaluation économique. L'autonomie accordée au niveau du flux physique induit à la fois une hausse du rendement (moins de temps d'attente de pièces), une amélioration de l'indicateur marchand (le retard moyen passe de plus de 5 heures à 3,4 heures), et une hausse de l'indicateur financier (par une augmentation des quantités vendues grâce à la meilleure efficacité physique des centres d'activités). Notons que cette performance est meilleure sur tous les critères que celle que l'organisation affichait en situation d'allonomie avec un environnement peu perturbé (bénéfice nul, retard moyen de 4,3 heures, rendement de 57 %). L'arrivée de perturbations a donc été un élément déclenchant pour amener le système dans une configuration meilleure en terme de performance globale. Le bruit injecté par le marché, tout en restant dans des limites acceptables pour ne pas détruire le système, a eu ici un effet structurant sur l'organisation.

2.2 Carte organisationnelle du système en flux tiré

Nous allons compléter notre carte organisationnelle en explorant l'évolution amenée par le projet productique vers un système de production en flux tiré. Cette transformation

est interprétée selon notre langage de modélisation comme une opération de réorganisation des processus opérationnels par le processus stratégique qui les pilote.

Dans le cadre de cette réorganisation, le processus stratégique va supprimer le processus opérationnel administratif et confier au processus physique le soin de gérer les décisions de production à l'aide d'un système kanban. Nous évoluons ainsi à nouveau vers une plus forte intégration entre le processus de prise de décision, le système physique, et le système d'information identifié ici aux étiquettes qui circulent entre les postes.

Nous mettons en circulation pour chaque poste et pour chaque type de pièces A et B 5 étiquettes correspondant chacune à un conteneur de 10 pièces. La production est autorisée lorsque 3 étiquettes sont revenues sur le tableau kanban. La taille des lots produits variera donc entre 30 pièces (3 étiquettes) et 50 pièces (5 étiquettes).

D'autre part, et conformément au standard de fonctionnement en flux tiré, chaque conteneur de pièces sera transmis immédiatement au poste aval, sans attendre que la totalité du lot soit terminée. Nous améliorerons ainsi de façon organisationnelle la fluidité du flux de production. Notons enfin que les temps de reconfiguration d'outils sont inchangés (2 heures sur toutes les machines). Le schéma suivant représente un tableau kanban entre deux centres d'activités :

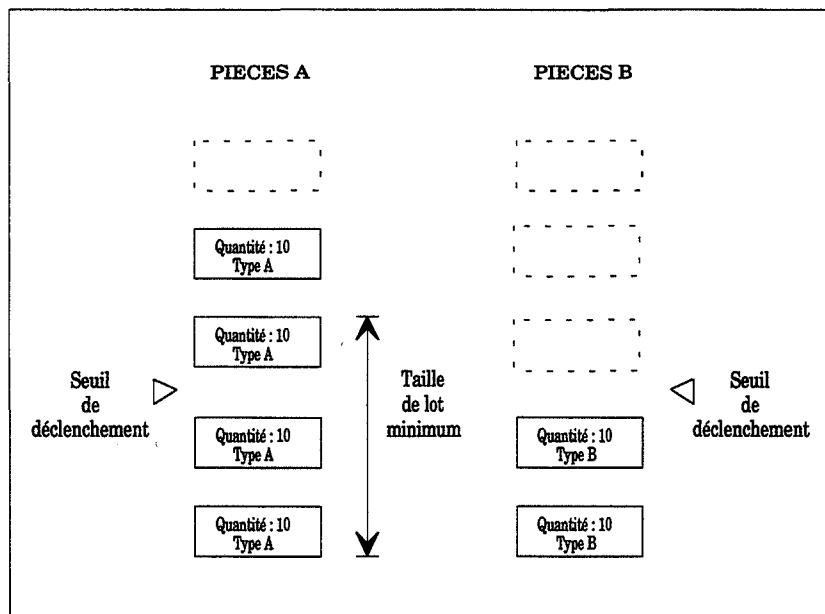
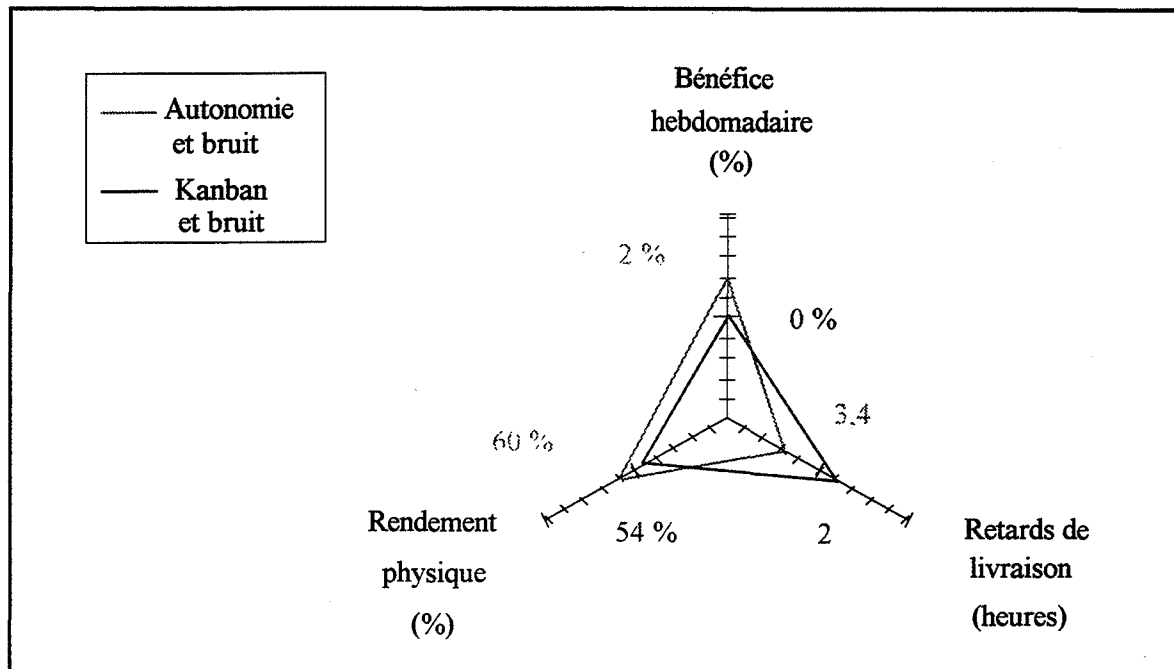


Schéma 60 : Détail d'un tableau kanban entre deux centres d'activités simulés

Les performances induites par la configuration en flux tiré de la maquette de simulation sont alors les suivantes :



Graphique 20 : Performance physique, marchande et financière, en environnement instable, en situation d'autonomie partielle et en système kanban.

Nous observons une amélioration de l'indicateur marchand, qui passe de 3,4 à 2 heures de retard moyen, au détriment de l'indicateur physique qui décroît légèrement en raison du nombre plus élevé de changements d'outil, et de l'indicateur financier qui redescend vers une situation de bénéfice nul en raison d'une baisse des quantités hebdomadaires produites. Ce déplacement du triangle de performances illustre les effets qu'une forte pression sur les délais peut induire sur l'efficacité et sur la rentabilité d'une organisation productive³¹.

Au delà des résultats chiffrés obtenus, cette expérimentation doit être perçue comme une mise en perspective des conséquences possibles d'actions organisationnelles sur la performance économique du système. Elle donne en effet des tendances à partir desquelles les observateurs-acteurs du modèle peuvent discuter, négocier, et parvenir à des consensus

³¹ Une diminution des temps de changement d'outil selon une démarche SMED permet ensuite d'améliorer les indicateurs physique et financier.

qui guideront leurs actions. La simulation nous permet ici de mettre en scène des phénomènes constatés au sein des organisations productives, et favorise une interprétation partagée de ces phénomènes par l'ensemble des acteurs impliqués. Nous utilisons ainsi la modélisation et la simulation comme moyens pour faire émerger des solutions innovantes, et la mise en scène dynamique de l'organisation par le modèle de simulation auprès d'un observateur-acteur est pour nous un outil d'énaction qui alimente l'action productive par sa capacité à créer les questions pertinentes à chaque étape du problème. C'est à cette condition que nous dépasserons effectivement le paradigme de l'ordinateur³² dans lequel le modèle tente de donner la solution au problème posé, pour aller vers ce que P. Lorino nomme un paradigme interprétatif³³, dans lequel l'interprétation est distribuée entre les acteurs et alimente le processus permanent de découverte de solutions consensuelles innovantes face aux exigences de l'environnement.

³² Au sens de F. Varela, Cf. Chapitre 4, section 2, 1.1

³³ P. LORINO : *Comptes et Récits de la Performance*, op. cit., p. 104.

Dans ce dernier chapitre, nous avons montré que le langage de modélisation que nous avons proposé était adapté pour représenter le cas réel du projet productique d'une entreprise industrielle confrontée à l'évolution de son environnement, et répondant selon une démarche d'intégration et de flexibilité par une reconfiguration de ses processus principaux. Nous avons également présenté une maquette de simulation implémentée à partir du modèle décrit par ce même langage, décrivant dynamiquement les liens entre les performances au niveau physique, marchand et financier, et décomposant quelques effets d'un ensemble de rationalités évaluatives et structurelles sur les activités cognitives d'une organisation productive.

Au delà d'une démarche de validation du langage proposé, ces deux applications ont confirmé les incidences de l'activité cognitive des acteurs sur les niveaux de performance des organisations productives. Elles ont montré que l'intégration de la dimension cognitive dans les modèles de représentation améliorerait notre interprétation du comportement des organisations et que l'évaluation économique comme processus actif et dynamique pouvait s'appuyer sur des outils de simulation pour favoriser les processus d'émergence et de créativité et pour orienter l'action. L'autonomie laissée à une organisation productive s'exprime alors par la mise en oeuvre de phénomènes cognitifs, et le système de représentation, interprété individuellement par chaque acteur, oriente les décisions vers des niveaux satisfaisants de performance collective.

CONCLUSION GENERALE

En recherchant un modèle adéquat pour évaluer la performance économique des entreprises industrielles, nous avons été conduits à proposer un langage de représentation nouveau, apte à décrire et à représenter les formes nouvelles d'organisations productives.

Ce langage de représentation s'insère tout d'abord dans le cadre de la procédure systémique car il permet de modéliser des phénomènes perçus comme complexes en respectant le changement de registre qui remplace les notions analytiques d'objet, d'élément et d'ensemble par des notions systémiques de projet, d'unité active et de système. Nous nous sommes ainsi positionnés dans une logique de conception (system design) et non dans une simple démarche d'amélioration qui ne consiste qu'à assurer le fonctionnement d'un système conformément à des spécifications préétablies. Nous avons toutefois essayé d'éviter le réductionnisme d'une synthèse issue d'un point de vue exagérément global en nous attachant à décrire de façon très analytique les comportements locaux dont l'influence nous paraissait essentielle pour le fonctionnement du système¹.

Au delà des représentations traditionnelles de l'entreprise-facteurs, ce langage est conçu pour favoriser une représentation de l'entreprise-compétences, parce que nous avons considéré que la performance d'une organisation dépendait désormais de son aptitude à acquérir et à accumuler rapidement des savoirs collectifs. Il renvoie en particulier à une vision de l'intégration comme mise en oeuvre de conditions favorisant les processus d'apprentissages collectifs, et de la flexibilité comme capacité à inventer rapidement une démarche de décision en réponse aux perturbations extérieures. La réactivité de l'organisation est liée à la qualité des compétences économiques et techniques localisées près du flux physique de production, et détenues en partie à ce titre par les utilisateurs directs des nouvelles technologies. Il était donc indispensable de proposer une

¹Par exemple les caractéristiques précises des machines de production (capacités, taux de pannes), ou encore des produits (temps des gammes d'usinage, ...).

représentation qui identifie les liens entre les connaissances et les performances, entre les compétences et les résultats de l'organisation.

Pour cela, ce langage s'appuie sur des concepts différents de ceux qui supportaient les représentations de l'entreprise-facteurs. L'évaluation économique passe d'un outil de mesure statique et externe à un processus interne collectif et dynamique, le statut de l'information se déplace vers le domaine cognitif, et la hiérarchie est interprétée selon une vision méta-systémique dans un contexte d'autonomie plus grande.

Le langage s'appuie également sur la nouvelle instrumentation de gestion qui succède aux outils traditionnels adaptés à un contexte stable. Il est en particulier fondé sur le concept de chaîne de valeurs de M. Porter, et permet ainsi de décomposer l'entreprise selon l'enchaînement de ses activités de base pour aboutir à une quantité de produits valorisables sur le marché. Ces activités y sont structurées en méta-niveaux successifs d'intégration (un niveau d'organisation supérieur englobe un niveau propre et lui donne son sens) à travers les notions de processus opérationnels et de processus stratégiques. En considérant que les produits ne consomment pas des coûts mais des activités elles-mêmes consommatrices de coûts, le langage rejoint également les principes de la nouvelle comptabilité par activités. En représentant à chaque niveau de modélisation les coûts des ressources effectivement mises en oeuvre par chaque activité, nous favorisons cette interprétation comptable alternative à la comptabilité analytique traditionnelle fondée sur le système de clefs de répartition.

Enfin, le langage de représentation que nous avons construit tente d'avancer en direction de cette problématique essentielle décrite par M. Hollard : "concilier la prise en compte de la production (comme le fait la théorie classique) et des comportements des individus"². En effet, abandonner l'hypothèse selon laquelle les individus se comportent tous suivant la même rationalité, nous a conduit à représenter les critères individualisés et répartis qui orientent spécifiquement les décisions individuelles des acteurs. La compréhension des déterminants cognitifs de la performance globale d'une organisation productive passe ainsi par la représentation des processus décisionnels autonomes des différents acteurs et par la représentation des chaînes de rationalités qui la structurent. La double modélisation imbriquée d'agents cognitifs et de centres d'activités permet ici de représenter la double nature des processus : une nature opérationnelle comme suite d'activités produisant un extrant précis, et une nature cognitive produisant des connaissances³.

² M. HOLLARD (dir.) : *Génie industriel : les enjeux économiques*, PUG, 1994, p. 21.

³ Cf. P. LORINO : *Comptes et Récits de la Performance*, op. cit., p. 186.

Cependant, établir la cartographie des processus principaux d'une organisation productive n'apparaît pas suffisant pour rendre pleinement compte des déterminants cognitifs de la performance économique. Cette utilisation du langage de représentation génère en effet un modèle trop statique pour répercuter les comportements par nature dynamiques d'un système complexe. C'est pourquoi le langage doit également être utilisé pour structurer des expérimentations de simulation.

La simulation prolonge alors la modélisation à partir d'un langage de représentation unique, et donne un retour d'expérience destiné à alimenter les processus d'apprentissage organisationnel. Elle intervient dans les séquences de développement organisationnel d'une firme comme point de passage possible entre le besoin de changement et sa mise en oeuvre, par sa capacité d'exploration rapide des voies pressenties de changement.

Le langage de représentation proposé oriente naturellement la simulation vers des expérimentations destinées à montrer le rôle de l'activité cognitive des différents acteurs d'une organisation sur ses performances économiques. L'expérimentation sur maquette permet alors de mettre en perspective l'impact de la répartition des connaissances entre les acteurs, ou encore l'influence de l'insertion de connaissances nouvelles, sur les résultats de l'organisation. Cette illustration dynamique des relations entre cognition et performance peut accompagner les démarches d'investissement dans l'intelligence vouées à transformer des processus purement opérationnels au départ en processus également cognitifs, que ce soit en conception, en production, en commercialisation, ou dans l'organisation des rapports de travail et de communication. De plus, les caractéristiques intrinsèques de coopération et de communication⁴ des agents cognitifs du langage de représentation donnent un cadre adapté à l'étude des conséquences de la qualité des relations de travail sur les performances d'une organisation.

Plus globalement, le retour d'expérience donné par la simulation favorise l'établissement collectif de cartes organisationnelles destinées à guider chaque acteur du changement, et donne une vision partagée des conséquences de l'action individuelle sur les performances globales.

La démarche proposée appelle cependant des approfondissements, à la fois sur le plan des concepts et sur celui des techniques mises en oeuvre.

⁴ En particulier grâce au concept d'accointance de l'intelligence artificielle distribuée.

Sur le plan des concepts, nous n'avons pas représenté les boucles d'apprentissage qui se déroulent continûment dans les organisations, et qui permettent une mise à jour et une réorganisation permanente des connaissances. Les conditions sont cependant présentes pour faire apparaître explicitement dans le langage de représentation ces boucles d'apprentissage, de façon à modéliser par exemple un phénomène d'apprentissage subi par le remplacement progressif de connaissances générales en connaissances routinières, suite à l'accomplissement répété de tâches identiques par un agent cognitif. Cette mise à jour des espaces de connaissances et des systèmes inférents est pour l'instant implicite et nous l'avons réalisée manuellement dans les expériences de simulation présentées⁵. La modélisation explicite et la simulation effective de ces boucles pourraient conférer une dynamique plus forte au langage de représentation.

Un autre axe conceptuel d'approfondissement concerne les relations entre les agents. En effet, les possibilités offertes par la structure interne des agents cognitifs du langage de représentation n'ont pas encore été complètement exploitées. En particulier, la représentation d'intentions propres fortement éloignées des rationalités évaluatives et structurelles reçues peut permettre d'analyser des comportements individuels locaux décalés des objectifs globaux de l'organisation. Les recherches actuelles en théorie des jeux pourraient nous aider ici à préciser les mécanismes de négociation qui peuvent alors se dérouler au sein d'une organisation.

Sur le plan technique, nous avons utilisé des programmes impératifs pour représenter le fonctionnement du système inférent de chaque agent cognitif. La mise en oeuvre de moteurs d'inférence au sens de l'intelligence artificielle rendra plus souple l'utilisation des maquettes de simulation, en permettant notamment d'identifier plus distinctement les bases de connaissances distribuées, et améliorera l'interprétation de l'impact d'une connaissance donnée comme déterminant cognitif de la performance. Il s'agit également d'un préalable indispensable à la simulation automatique des boucles d'apprentissage.

Ces différents points conceptuels et techniques constituent autant de perspectives de recherches pour améliorer le langage de représentation et contribuer à l'évaluation économique des organisations productives.

Enfin, nous souhaitons préciser que l'objectif n'est pas ici de modéliser l'entreprise jusque dans ses activités cognitives pour lui substituer in fine un artefact technique, et pour

⁵ Notamment lors de la simulation de la démarche d'apprentissage par communication entre deux agents cognitifs, menant à une décision satisfaisante et commune des quantités à fabriquer par références.

nous orienter à nouveau dans la direction de l'usine sans hommes. En effet, le paradigme de l'ordinateur au sens de F. Varela, ou encore le paradigme computationnel de P. Lorino, utilisé pour la simulation limite nécessairement le fonctionnement autonome du modèle à l'étape cognitiviste, ou au mieux à celle du connexionnisme. Or l'acquisition de justes jugements nécessite une interprétation critique des phénomènes observés, qui seule apporte un apprentissage efficace au sens d'une amélioration dans l'aptitude à concevoir le problème.

En définissant la notion de modèle non pas comme outil fermé de décision fondé sur une représentation exacte qui reproduise le plus fidèlement la réalité et donne une solution unique à un problème posé, mais comme représentation qui permette de prendre des décisions satisfaisantes et amorce un processus d'apprentissage, nous avons choisi au départ de favoriser les processus cognitifs issus des interactions entre le modèle et son observateur. En effet, la faculté de poser les questions pertinentes qui surgissent à chaque étape d'un problème ne renvoie pas au modèle seul, incapable en lui-même d'un tel processus d'énaction, mais au couple formé par le modèle et son observateur. C'est d'ailleurs là en partie le sens de l'aller-et-retour que nous proposaient R. Salais et M. Storper entre une réalité construite et un modèle de production constructeur, entre un modèle structuré et un modèle structurant, où par une sorte d'effet-miroir le modèle est construit par un acteur qui s'y observe également.

C'est pourquoi l'objectif d'un langage de représentation n'est pas de modéliser les comportements pour les contrôler mais de proposer une vision partagée qui sera interprétée individuellement et orientera les décisions vers des niveaux de performance collective satisfaisants. La modélisation et la simulation comme aides à l'évaluation économique des organisations productives se situent bien dans le cadre d'un paradigme interprétatif au sens de P. Lorino, dans lequel le modèle aide l'observateur à interpréter la réalité pour y orienter ses actions.

ANNEXE 1 : DETAIL DES AGENTS COGNITIFS ET DES CENTRES D'ACTIVITES DU MODELE DE SIMULATION

1. Processus stratégique

Le processus stratégique représenté dans notre maquette regroupe les actions de transformation réalisées sur le processus opérationnel de traitement d'informations, et sur le processus opérationnel de transformation physique. Ce processus stratégique sera naturellement décrit par le couplage du module de décision formalisé par l'agent cognitif de méta-méta-niveau AC² et du module regroupant ces deux processus opérationnels. Nous allons dans un premier temps décrire le contenu de l'agent cognitif AC².

Le fonctionnement de cet agent cognitif reflétera un mouvement dynamique de développement de l'entreprise, lié aux buts que l'organisation s'est donnés. En présentant la théorie micro-économique néoclassique, nous avons analysé les buts de la firme, et nous avons montré comment la recherche du profit à long terme, le niveau des dividendes distribués, le chiffre d'affaires, ou encore la valeur ajoutée, émergeaient comme alternatives à la traditionnelle recherche de profit à court terme, selon les catégories d'acteurs impliqués collectivement dans l'objectif¹. Nous avons ensuite relativisé la recherche d'un objectif mono-critère en présentant l'évaluation économique multi-critères selon les niveaux physique, marchand et financier distingués par J. H. Jacot². Dans le cadre de notre maquette, nous utiliserons cette définition multi-critère de la performance économique, et nous donnerons un objectif financier (recherche de profit), un objectif marchand (taux de service client mesuré par le retard moyen de livraison de commandes de produits finis) et un objectif physique (rendement des postes de travail). Cet objectif multiple est formalisé dans notre langage de modélisation par des rationalités de niveau supérieur :

¹ Cf. Chapitre 2, section 1, 2.2.

² Cf. Chapitre 4, section 1, 2.2.

Rationalités de niveau supérieur :

- Rationalité structurelle : L'agent cognitif du processus stratégique est habilité à prendre des décisions pour restructurer les processus opérationnels de traitement d'informations et de transformation physique.
- Rationalité évaluative : La performance de l'agent cognitif du processus stratégique est évaluée selon un objectif physique (rendement), un objectif marchand (service) et un objectif financier (profit).

Notons que ces rationalités supérieures permettent bien de représenter les intentions perçues par le modélisateur, sous forme d'un projet finalisé qui va expliquer les orientations prises par l'organisation en fonction de son environnement. Nous respectons donc ici l'approche tenant "pour inséparable le fonctionnement et la transformation d'un phénomène, des environnements actifs dans lesquels il s'exerce et des projets par rapport auxquels il est identifiable"³. Notons également que ces rationalités peuvent être le fait d'une autorité hiérarchique dans le cas d'une organisation très directive, ou être construites collectivement dans le cas d'une organisation très participative. Dans ce dernier cas, elles se situent également à un niveau supérieur en ce sens qu'elles émergent comme rationalités communes et fédératrices consolidant l'organisation et lui donnant un sens.

Intentions :

Les intentions de l'agent cognitif AC² seront simplement de satisfaire sa rationalité évaluative propre, tout en restant dans le cadre des possibilités de décision données par sa rationalité structurelle. Nous envisagerons plus loin et pour d'autres agents cognitifs la possibilité de s'éloigner de cette conduite, et nous analyserons les dysfonctionnements qui en résultent.

Décisions :

L'agent cognitif AC² décidera des restructurations nécessaires sur nos deux processus opérationnels pour satisfaire la rationalité évaluative sur laquelle il est jugé, c'est-à-dire pour satisfaire les critères physique, marchand et financier. Ces restructuration iront dans le dernier scénario de l'expérience de simulation jusqu'à la suppression de l'existence autonome d'un processus administratif. Les décisions seront alors prises directement le long du flux de production, c'est à dire dans le processus physique.

³ J. L. LEMOIGNE : *La modélisation des systèmes complexes*, Dunod, 1990, p. 40, cité *supra* Chapitre 4, section 3, 1.2.

Connaissances :

L'espace de connaissances de l'agent cognitif AC² permet de générer les décisions et les rationalités qu'il émet en direction des processus opérationnels qu'il transforme. Il est constitué de règles de production (si ... alors ...) et de faits, généralement issus de l'expérience :

- Pour le scénario 1 :

L'agent cognitif pilotant la chaîne d'activités de traitement d'informations (respectivement la chaîne d'activités de transformation physique) doit garder un libre choix pour structurer la décision des agents cognitifs qui pilotent les centres d'activités de traitement d'informations (respectivement de transformation physique).

L'objectif marchand de taux de service client doit être transmis à la chaîne de traitement d'informations.

L'objectif physique de rendement doit être transmis à la chaîne de transformation de matières premières en produits finis.

- Pour passer du scénario 1 au scénario 2 :

L'objectif marchand de taux de service client doit être transmis à la chaîne de transformation de matières premières en produits finis.

- Pour passer du scénario 2 au scénario 3 :

La suppression de la chaîne administrative et la mise en place d'un système kanban améliorent l'indicateur marchand.

Rationalités émises vers le niveau inférieur :

Ces rationalités sont structurelles et évaluatives. Elles sont émises vers l'agent cognitif AC₁¹ pilotant la chaîne d'activités de traitement d'informations, et vers l'agent AC₂¹ pilotant la chaîne d'activités de transformation de matières premières en produits finis. Elles évoluent lors des changements de scénario :

- scénario 1 (allonomie) :

Rationalité structurelle vers AC₁¹ : Libre choix sur la structure de décision des agents cognitifs pilotant les centres d'activités de traitement d'informations.

Rationalité évaluative vers AC₁¹ : Taux de service client.

Rationalité structurelle vers AC₂¹ : Libre choix sur la structure de décision des agents cognitifs pilotant le flux physique.

Rationalité évaluative vers AC₂¹ : Rendement physique de la chaîne de fabrication.

- scénario 2 (autonomie partielle) :
 - Rationalité structurelle vers AC_1^1 : Idem scénario 1.
 - Rationalité évaluative vers AC_1^1 : Taux de service client.
 - Rationalité structurelle vers AC_2^1 : Idem scénario 1.
 - Rationalité évaluative vers AC_2^1 : Taux de service client.
- scénario 3 (flux tiré) :
 - Rationalité structurelle vers AC_2^1 : Idem scénario 1.
 - Rationalité évaluative vers AC_2^1 : Taux de service client.

Ressources (coûts) R^2 :

Les ressources consommées par le processus stratégique sont des ressources liées au déroulement d'un projet. Nous les assimilons à des coûts fixes.

Ce processus stratégique ou projet agit dans notre maquette sur deux processus opérationnels : le processus opérationnel de traitement d'informations, et le processus opérationnel de transformation physique. Nous allons décrire chacun d'eux.

2. Processus opérationnel de traitement d'informations

Nous allons présenter successivement l'agent cognitif AC_1^1 qui pilote la chaîne d'activités de traitement d'informations, puis le détail de cette chaîne, c'est-à-dire l'agent cognitif de calcul des besoins ($AC_{1,1}^0$) et le centre d'activités qu'il pilote ($CA_{1,1}^0$) ainsi que l'agent cognitif d'ordonnancement ($AC_{1,2}^0$) et le centre d'activités qu'il pilote ($CA_{1,2}^0$).

Agent cognitif pilotant la chaîne d'activités de traitement d'informations : AC_1^1

Rationalités reçues depuis le niveau supérieur :

- Rationalité structurelle : Libre choix sur la structure de décision des agents cognitifs pilotant les centres d'activités de traitement d'informations.
- Rationalité évaluative : Performance évaluée par le taux de service client (retard moyen de livraison des commandes).

Intentions :

Satisfaire la rationalité évaluative reçue.

Décisions :

Les ordres de fabrication seront définis selon une méthode de type "flux poussé" par un traitement MRP suivi d'un ordonnancement.

Connaissances :

La méthode de type "flux poussé" MRP suivie d'un ordonnancement permet d'obtenir des résultats satisfaisants en terme de taux de service.

Le taux de service dépend des stocks de sécurité.

Le taux de service dépend des tailles de lot.

Rationalités émises vers le niveau inférieur :

- Rationalité structurelle : Libre choix sur les stocks de sécurité pour le calcul des besoins, et sur les tailles de lot pour l'ordonnancement.

- Rationalité évaluative : Performance évaluée par le taux de service client (retard moyen de livraison des commandes).

Ressources (coûts) R_1^1 :

Les ressources consommées à ce niveau par la chaîne d'activités génèrent uniquement des coûts fixes indépendants de l'activité de chaque centre de la chaîne.

Chaîne d'activités de traitement d'informations ($AC_{1,1}^0$, $CA_{1,1}^0$, $AC_{1,2}^0$, $CA_{1,2}^0$).

Agent cognitif de pilotage du calcul des besoins $AC_{1,1}^0$

Rationalités reçues depuis le niveau supérieur : elles proviennent de l'agent cognitif de méta-niveau AC_1^1 qui pilote la chaîne d'activités de traitement d'informations. Nous les rappelons pour mémoire :

- Rationalité structurelle : Libre choix sur les paramètres du calcul des besoins.
- Rationalité évaluative : Performance évaluée par le taux de service client (retard moyen de livraison des commandes).

Intentions :

Satisfaire la rationalité évaluative reçue.

Décisions :

Choix des niveaux de stock de sécurité pour chaque type de pièce et en aval de chaque poste.

Connaissances :

Si les stock de sécurité sont importants, le taux de service est élevé.

Ressources (coûts) $R_{1,1}^0$

Les ressources consommées par la chaîne d'activités génèrent uniquement des coûts fixes.

Centres d'activités de calcul des besoins $CA_{1,1}^0$

Le centre d'activités de calcul des besoins a pour objectif de déterminer la quantité que chaque poste de production doit fabriquer, pour chacune des deux références et dans une période donnée. Nous utiliserons par convention la semaine comme période de base de ce calcul des besoins.

Le flux principal entrant dans le centre d'activités est un carnet de commandes établi sur une semaine en produits finis de type A et de type B⁴. Ce carnet de commande décrit heure par heure les commandes effectives pour la semaine à venir, et est également utilisé pour simuler le marché, c'est-à-dire pour consommer les stocks de produits finis. Il est généré à partir d'une loi aléatoire avec un écart type réglable, qui permettra de doser l'instabilité de l'environnement lors de notre démarche d'expérimentation. Nous noterons $C_X = \{C_{X,1}, C_{X,2}, \dots, C_{X,40}\}$, le carnet de commandes sur les 40 heures d'une semaine pour le produit X, avec $X \in \{A, B\}$.

Le flux principal sortant est constitué des quantités de pièces de type A et de type B à fabriquer pendant la semaine sur chacun des trois postes de production. Nous noterons $P_{X,i}$, la quantité de pièces de type X à fabriquer sur le poste i.

Le réglage du calcul des besoins est réalisé par l'agent cognitif qui le pilote, et qui lui transmet les objectifs de stock de sécurité à atteindre pour chaque type de pièce en aval de chaque poste. Nous noterons $Qs_{X,i}$ le stock de sécurité visé pour la référence X en aval du poste i.

⁴ Nous pourrions également utiliser des *prévisions* de commandes au lieu de commandes fermes, ce qui introduirait un bruit supplémentaire et dégraderait le taux de service client.

Enfin, le calcul des besoins reçoit en entrées secondaires les différents stocks⁵ intermédiaires en pièces de type A et B, notés $S_{A,i}$ et $S_{B,i}$, et situés en aval de chaque poste $CA_{2,i}^0$, ainsi que les en-cours de fabrication sur chaque poste, notés $EC_{A,i}$ et $EC_{B,i}$.

L'algorithme de fonctionnement du centre d'activités de calcul des besoins est alors le suivant :

Agrégation du carnet de commandes :

$$B_X = \sum_{h=1}^{40} C_{X,h} : \text{besoin brut hebdomadaire en produits finis de type X.}$$

Calcul de la quantité à produire au poste 3 :

$$P_{X,3} = B_X - Q_{X,3} - EC_{X,3} + Qs_{X,3}$$

Calcul de la quantité à produire au poste 2 :

$$P_{X,2} = P_{X,3} - Q_{X,2} - EC_{X,2} + Qs_{X,2}$$

Calcul de la quantité à produire au poste 1 :

$$P_{X,1} = P_{X,2} - Q_{X,1} - EC_{X,1} + Qs_{X,1}$$

Nous passons à présent à l'aspect ordonnancement au sein de la chaîne d'activités de traitement d'informations.

Agent cognitif d'ordonnancement $AC_{1,2}^0$

Rationalités reçues depuis le niveau supérieur : elles proviennent de l'agent cognitif de méta-niveau AC_1^1 qui pilote la chaîne d'activités de traitement d'informations. Nous les rappelons pour mémoire :

- Rationalité structurelle : Libre choix sur la taille des lots.
- Rationalité évaluative : Performance évaluée par le taux de service client (retard moyen de livraison des commandes).

Intentions :

Satisfaire la rationalité évaluative reçue.

⁵ Nous pourrions également envisager ici de transmettre une information bruitée au calcul des besoins, pour rendre compte des décalages fréquemment observés en entreprise entre les stocks informatiques et les stocks réels.

Décisions :

Taille de lot pour la fabrication des pièces de type A et des pièces de type B, sur chacun des trois postes.

Connaissances :

Si les tailles de lot sont diminuées, alors le processus de fabrication devient plus réactif.

Si le processus de fabrication devient plus réactif, alors le taux de service s'améliore.

(Ce qui incite à diminuer les tailles de lot, au détriment du rendement physique des opérations)

Ressources (coûts) $R_{1,2}^0$

Les ressources consommées par la chaîne d'activités génèrent uniquement des coûts fixes.

Centres d'activités d'ordonnancement $CA_{1,2}^0$

L'objectif du centre d'activités d'ordonnancement est de calculer une liste d'ordres de fabrication pour chacun des trois postes de production, de façon à alterner la fabrication de pièces de type A et de pièces de type B. Notons bien que le but n'est pas de tester des heuristiques d'ordonnancement, et nous avons retenu pour cette raison un algorithme de base qui consiste simplement à alterner des lots de type A et de type B, selon des tailles prédéfinies et constantes, jusqu'à épuisement des quantités hebdomadaires à fabriquer.

Le flux principal entrant dans ce centre d'activités est le flux principal sortant du calcul des besoins, constitué des quantités de pièces de type A et de type B à fabriquer pendant la semaine sur chacun des trois postes de production, précédemment notées $P_{x,i}$.

Le flux principal sortant est constitué de trois listes d'ordres de fabrication que nous notons L_i et qui sont composées d'ordres de fabrication définis par une quantité et un type : $L_i = (OF_i(1), OF_i(2), \dots, OF_i(n_i))$, avec $OF_i(j) = (Q_{i,j}, X)$ où $Q_{i,j}$ est la quantité à produire lors de l'exécution du $j^{\text{ème}}$ ordre de fabrication au poste i , et $X \in \{A, B\}$.

Le réglage du centre d'activités d'ordonnancement est réalisé par l'agent cognitif qui le pilote, et qui lui transmet des paramètres de taille de lot. Nous noterons $T_{x,i}$ la taille décidée

par l'agent cognitif d'ordonnancement $AC_{1,2}^0$ pour les lots de pièces de type X fabriqués au poste i.

L'algorithme de fonctionnement du centre d'activités d'ordonnancement est donc le suivant :

Pour chaque poste i :

```

    j = 1
    Tant que ( $P_{A,i} > 0$  ou  $P_{B,i} > 0$ )
        Si  $P_{A,i} > 0$ 
             $Q_{i,j} = \min(P_{A,i}, T_{A,i})$ 
             $OF_i(j) = (Q_{i,j}, A)$ 
            j = j + 1
             $P_{A,i} = P_{A,i} - Q_{i,j}$ 
        Si  $P_{B,i} > 0$ 
             $Q_{i,j} = \min(P_{B,i}, T_{B,i})$ 
             $OF_i(j) = (Q_{i,j}, B)$ 
            j = j + 1
             $P_{B,i} = P_{B,i} - Q_{i,j}$ 
     $n_i = j - 1$  (nombre total de lots)
    
```

Nous allons décrire à présent le processus opérationnel qui transforme les matières premières en produits finis.

3. Processus opérationnel de transformation physique

Comme nous l'avons fait pour le processus opérationnel de traitement d'informations, nous allons présenter successivement l'agent cognitif AC_2^1 qui pilote la chaîne d'activités de transformation de matières premières en produits finis, puis le détail de cette chaîne, c'est-à-dire les agents cognitifs de pilotage du flux physique ($AC_{2,i}^0$) et les centres d'activités associées ($CA_{2,i}^0$).

Agents cognitifs AC_2^1

Rationalités reçues depuis le niveau supérieur :

- Rationalité structurelle : Libre choix sur la structure de décision des agents cognitifs pilotant le flux physique.
- Rationalité évaluative : Performance évaluée par le rendement physique de la chaîne de production, puis dans le cadre d'une restructuration liée à un projet d'intégration, par le taux de service client (retards de livraison).

Intentions :

Satisfaire la rationalité évaluative reçue.

L'association de cette intention et d'une rationalité évaluative favorisant la recherche de rendement physique amènera dans le premier scénario l'agent cognitif à réorganiser la liste d'ordres de fabrication de façon à limiter les changements d'outils, et ce au détriment du taux de service client.

Décisions :

scénario 1 (allonomie)

L'agent cognitif transmet au niveau inférieur une liste d'ordres de fabrication, qu'il perçoit comme sortie principale de la chaîne d'activités de traitement d'informations. Cette liste détaille les quantités et les références à produire par poste. Il peut toutefois modifier l'ordre et les quantités dans cette liste en fonction de ses intentions propres.

scénario 2 (autonomie partielle) :

L'agent cognitif transmet toujours au niveau inférieur la liste d'ordres de fabrication, mais les agents cognitifs de niveau inférieur auront la possibilité de permuter les ordres s'ils le jugent utile.

scénario 3 (flux tiré) :

L'agent cognitif détermine le nombre de tickets kanban à mettre en circulation, ainsi que le seuil de déclenchement, pour chaque référence.

Connaissances :

scénario 1 (allonomie)

Si le programme donné par le service ordonnancement est respecté, alors le taux de service client est satisfaisant.

Pour améliorer l'indicateur de rendement physique :

Si le nombre de changements d'outils est réduit, alors le rendement physique s'améliore.

Si les lots sont regroupés, alors le nombre de changements d'outils est réduit.

scénario 2 (autonomie partielle) :

Un objectif de rendement et une autonomie suffisante au niveau inférieur pour réordonnancer les ordres de fabrication permettent d'obtenir un taux de service client satisfaisant.

scénario 3 (flux tiré) :

Formule de calcul du nombre d'étiquettes à mettre en circulation.

Formule de calcul de seuil de déclenchement.

Et pour rendre le système dynamique dans une démarche de progrès permanent :

Si le nombre d'étiquettes en circulation est réduit, alors le flux se tend.

Si le flux se tend, alors le taux de service s'améliore.

Rationalités émises vers le niveau inférieur :

- Rationalité structurelle :

scénario 1 (allonomie) : Pas de latitude de décision sur les ordres de fabrications.

scénario 2 (autonomie partielle) : Permutations autorisées sur la liste d'ordres de fabrication.

scénario 3 (flux tiré) : Choix total des quantités et des types de pièces à fabriquer.

- Rationalité évaluative :

scénario 1 (allonomie) : Respect de la liste d'ordres de fabrication.

scénario 2 (autonomie partielle) : Rendement physique du poste

scénario 3 (flux tiré) : Suivi du planning kanban.

Ressources (coûts) R_2^1

Les ressources consommées à ce niveau par la chaîne d'activités génèrent uniquement de coûts fixes indépendants de l'activité de chaque centre de la chaîne.

Chaîne d'activités de transformation de matières premières en produits finis

Agents cognitifs $AC_{2,i}^0$

Rationalités reçues depuis le niveau supérieur : elles proviennent de l'agent cognitif de méta-niveau AC_2^1 qui pilote la chaîne d'activités de transformation de matières premières en produits finis. Nous les rappelons pour mémoire :

- Rationalité structurelle

scénario 1 (allonomie) : Pas de latitude de décision sur les ordres de fabrications.

scénario 2 (autonomie partielle) : Permutations autorisées sur la liste d'ordres de fabrication.

scénario 3 (flux tiré) : Choix total des quantités et des types de pièces à fabriquer.

- Rationalité évaluative

scénario 1 (allonomie) : Respect de la liste d'ordres de fabrication.

scénario 2 (autonomie partielle) : Rendement physique du poste.

scénario 3 (flux tiré) : Suivi du planning kanban.

Intentions :

Dans tous les cas de figure : satisfaire la rationalité évaluative reçue.

Décisions :

Dans tous les cas : quantité et type de pièce à produire sur le poste.

Connaissances :

scénario 1 (allonomie)

Si les ordres de fabrication sont exécutés un par un et dans l'ordre donné, alors le programme de fabrication sera respecté.

Puis, un processus d'apprentissage (manuel dans notre maquette) fera évoluer les connaissances vers les deux règles suivantes :

Si les lots sont regroupés par types, le nombre de changements d'outil est réduit.

Si le nombre de changement d'outils est réduit, alors le rendement physique s'améliore.

L'agent cognitif aura ainsi tendance à regrouper les lots de pièces identiques de façon à minimiser le nombre de ses changements d'outil, au détriment du taux de service client global. Le passage à un système kanban, fédérateur de rationalités auparavant

distinctes et antagonistes (rendement physique contre taux de service client) permettra de résoudre ce problème.

scénario 2 (autonomie partielle) :

Si le stock amont de pièces de type A (resp. B) est insuffisant, alors la machine ne peut pas exécuter un ordre de fabrication de pièces de type A (resp. B).

Si une machine n'exécute pas un ordre de fabrication, alors le rendement physique baisse.

Si la permutation d'ordres est autorisée, alors le choix d'un ordre pour lequel les pièces sont disponibles en amont permet d'occuper la machine.

scénario 3 (flux tiré) :

Les connaissances sont liées au fonctionnement d'un tableau kanban⁶ :

Si le nombre d'étiquettes dans une colonne dépasse le seuil de lancement, alors la production de cette référence est autorisée.

Si plusieurs références sont autorisées en même temps, alors il faut choisir la référence correspondant à la colonne la plus remplie.

Si une référence est choisie, alors il faut produire une quantité égale au nombre d'étiquettes présent sur le tableau au moment du choix.

Ressources (coûts) $R_{2,i}^0$

Les ressources consommées par chaque centre d'activités génèrent des coûts fixes, et des coûts variables proportionnels à l'activité du centre.

Centres d'activités $CA_{2,i}^0$

Les centres d'activités de transformation de la matière ont une capacité journalière de huit heures et fonctionnent cinq jours par semaine. La durée opératoire d'usinage par pièce est de dix centièmes d'heure. Le temps de changement d'outil pour passer d'un type de pièces à un autre est de deux heures.

Chaque centre d'activités produit ses pièces par lots, selon une taille donnée par l'agent cognitif qui le pilote, et ne transmet les pièces qu'il a fabriquées sur l'aire de stockage

⁶ Nous utilisons ici une configuration de fonctionnement de tableau kanban qui intègre un seuil de lancement correspondant à une taille de lot, mais qui n'intègre pas de seuil de rupture. Le choix des priorités en cas de conflit s'effectue donc en sélectionnant la colonne la plus remplie.

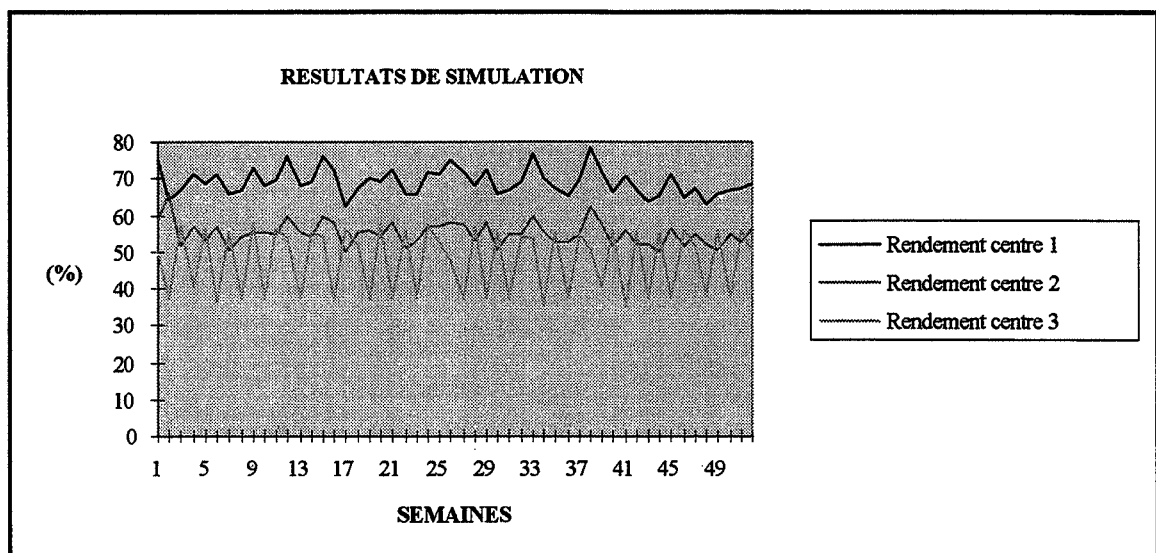
aval qu'une fois le lot complet. Cette règle permet de relier fortement le choix des tailles de lots avec le comportement du flux physique.

Enfin, la simulation des centres d'activités comporte des pannes aléatoires qui perturbent leur fonctionnement et dégradent leur capacité.

ANNEXE 2 : CONTEXTE DE SIMULATION

Avant de simuler le comportement de l'organisation productive selon chacun de scénarios prévus nous avons du décider de la durée des simulations et de leur nombre. Le choix de la durée de la simulation doit prendre en compte l'existence éventuelle d'un régime transitoire de démarrage, qui doit être dépassé pour obtenir des résultats significatifs en régime permanent. Quant à la nécessité de réaliser plusieurs simulations pour chaque scénario, elle provient de la présence d'un tirage aléatoire dans la représentation du marché qui nous oblige à réaliser des moyennes sur un nombre suffisamment grand d'échantillons.

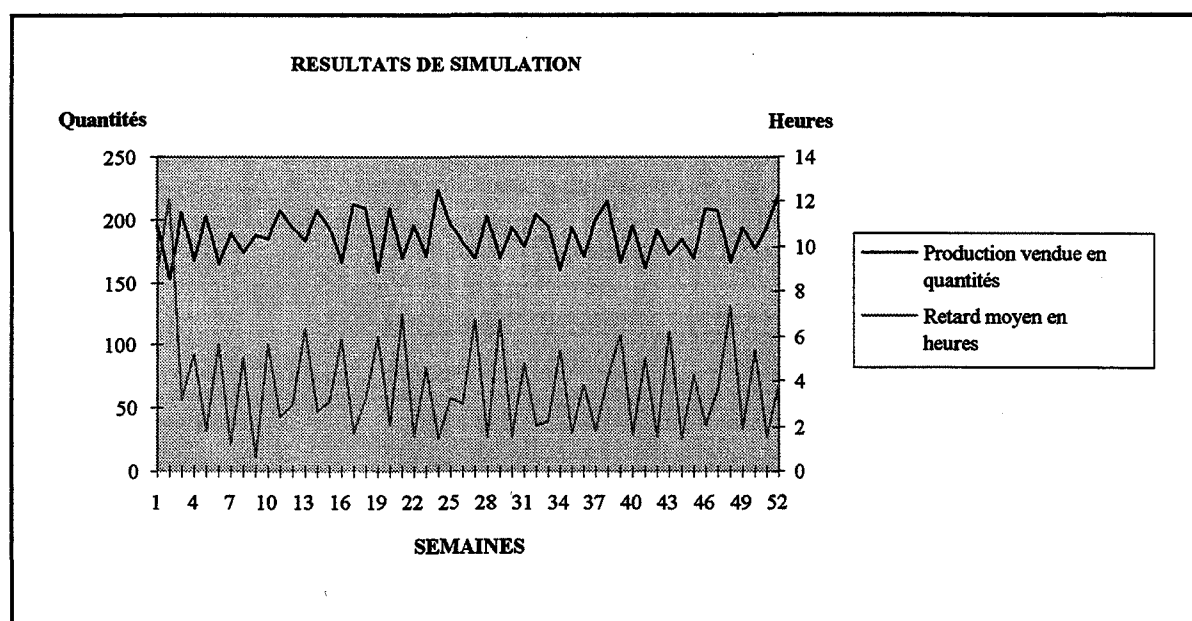
Pour déterminer ces paramètres, nous avons effectué une première expérience de simulation sur 52 semaines. Au niveau physique, nous obtenons avec le scénario n° 1 la courbe suivante qui représente les indicateurs de rendement de chacun des trois centres d'activités :



Graphique 21 : Rendements au niveau physique des trois centres d'activités en situation d'allonomie

Ces courbes appellent deux remarques. En premier lieu, nous voyons que le rendement moyen des centres d'activités diminue progressivement de l'amont vers l'aval de la production, c'est à dire du centre d'activités numéro 1 au centre d'activités numéro 3. Ce phénomène classique a été identifié et expliqué par E. Goldratt¹. Il est dû à l'association de fluctuations statistiques (aléas sur les machines) et d'événements dépendants (les pièces passent nécessairement dans l'ordre sur les centres 1 puis 2 puis 3) qui induit des temps d'attente plus élevés pour les machines situées en aval du processus de fabrication. Pour améliorer la lisibilité des résultats, au lieu de présenter l'évolution de l'indice de rendement des trois centres d'activités sur l'horizon de la simulation, nous caractériserons par la suite le rendement physique de la maquette par un taux synthétique qui sera constitué d'une moyenne à la fois spatiale et temporelle (sur les trois postes et sur la durée de la simulation) des trois courbes précédentes.

En second lieu, l'observation des courbes montre que le régime transitoire est très court, et que les variables atteignent rapidement un régime permanent. Cette remarque est confirmée par l'observation de l'évolution du retard moyen et de la production vendue sur une durée de simulation de 52 semaines :



Graphique 22 : Production vendue et retard moyen en situation d'allonomie

¹ Par exemple dans E. GOLDRATT : *The OPT concept*, Creative Output, Milford, 1983, p. 19.

Aussi, nous avons décidé de réaliser les campagnes de simulation suivantes sur une durée de 20 semaines, qui nous est apparue suffisante pour dépasser le régime transitoire de montée en charge de la production. De plus, nous devons effectuer pour chaque scénario prévu un nombre suffisant d'exécutions pour s'assurer de la pertinence des moyennes obtenues en univers aléatoire. Nous avons donc finalement retenu la valeur de 20 exécutions de 20 semaines de simulation chacune pour chaque scénario, et nous justifions en cours de simulation ce choix par un calcul d'intervalle de confiance sur les résultats obtenus².

Nous terminerons en précisant la façon dont sont calculés les indicateurs physique, marchand et financier.

L'indicateur physique est la moyenne sur la durée de simulation, soit vingt semaines, des rendements physiques de chaque centre d'activités de la chaîne de transformation de matières en produits finis. Au niveau d'un centre, le rendement est défini par :

$$\text{Rendement} = \frac{\text{Temps standard de production}}{\text{Temps réel d'ouverture du centre}},$$

avec Temps standard de production = nombre de pièces produites par le centre * temps gamme unitaire pour une pièce,

et Temps réel = temps d'usinage + temps de changement d'outil + temps d'attente de lot.

Les différents temps réels sont mesurés directement par le programme de simulation.

L'indicateur marchand est le retard moyen de livraison des produits :

$$\text{Retard moyen} = \frac{\text{nombre d'heures de retard dans la semaine}}{\text{nombre de produits vendus}}$$

une "heure de retard" correspondant à 1 produit fini demandé et en retard pendant 1 heure.

² Cf. *supra*, p. 326.

L'indicateur financier est un profit mesuré par la différence entre la marge sur coûts variables et les charges fixes.

$$\text{Profit hebdomadaire} = Q \times (\text{Mcm}) - \sum_{i=1}^3 (\text{Do}_i \times \text{Cv}_i) - \text{Cf},$$

Q : quantité hebdomadaire vendue de produits finis,

Mcm : marge unitaire sur coût matière,

Do_i : durée d'ouverture du centre i dans la semaine en heures,

Cv_i : coût variable horaire du centre i,

Cf : coûts fixes par semaine.

Pour se rapprocher des performances réelles de l'entreprise S., nous avons retenu les valeurs numériques suivantes : marge unitaire sur coût matière : 1000 pour chacun des deux produits A et B, coût horaire variable des centres : 100 par centre, coûts fixes par semaine : 180 000. Les durées d'ouverture des centres et les quantités vendues sont calculées par le simulateur.

Enfin, nous présentons un indicateur normé pour améliorer la lisibilité des résultats, en divisant le profit obtenu par les coûts fixes :

$$\text{Indicateur financier} = \frac{\text{profit hebdomadaire}}{\text{coût fixes}}.$$

BIBLIOGRAPHIE

ALBOUY M. : *La régulation économique dans l'entreprise*, Dunod, Paris, 1972.

AFRIAT C. : *L'investissement dans l'intelligence*, PUF, Paris, 1992.

ANSOFF H. : *Stratégie du développement de l'entreprise*, Editions d'organisation, Paris, 1989.

ANTHONY R. : *Planning and control systems : A framework for analysis*, Harvard University Press, Massachusetts, 1965.

ANTHONY R. et DEARDEN J. : *Management control system - Text and cases*, R. Irwin inc., Homewood, Illinois, 1976.

AOKI M. : *Economie japonaise - Information, motivations et marchandage*, Economica, Paris, 1991.

ARGYRIS C. et SCHÖN D. : *Organizational learning : a theory of action perspective*, Addison-Wesley Publishing Company, Massachusetts, 1978.

ASHBY R. : *Design for brain*, Chapman and Hall, 1960.

ATLAN H. : *Entre le cristal et la fumée - Essai sur l'organisation du vivant*, Seuil, Paris, 1979.

AYEL J. et LAURENT J. P. : "Système Multi-agents pour coordonner les activités de gestion de production", in *Reconnaissance de Formes et Intelligence Artificielle*, Actes du congrès de l'AFCET, 1992.

BAGLIN G. et alii : *Gestion de la production et des stocks*, Weka Gestion, Paris, 1989.

BENARD J. : *Economie publique*, Economica, Paris, 1985.

BERANGER P. : *Les nouvelles règles de la production - Vers l'excellence industrielle*, Dunod, Paris, 1987.

von BERTALANFFY L. : *Théorie générale des systèmes*, Dunod, Paris, 1976.

BESSON P. : *L'atelier de demain - perspectives de l'automatisation flexible*, PUL, Lyon, 1983.

BESSON P. : "Le contrôle de gestion, la valeur et le contrat : une fonction industrielle en mutation", in *Gestion Industrielle et Mesure Economique - Ecosip*, Economica, Paris, 1990.

BITTON M. et DOUMEINGTS G. : "Conception de systèmes de mesure de performance : la méthode ECOGRAI", in *Gestion Industrielle et Mesure Economique - Ecosip*, Economica, Paris, 1990.

BLAUG M. : *La pensée économique : origine et développement*, Economica, Paris, 1981.

BLOCH A. : "Vers un renouveau de la pensée économique" in *Modélisation et maîtrise des systèmes techniques économiques sociaux*, Actes du congrès de l'AFCET, Tome 1, 1977.

BOUCHUT Y. : "Organiser et gérer la production", in *Du Fordisme au Toyotisme ? - Etudes et Recherches du Commissariat Général au Plan n° 7-8*, La Documentation Française, Paris, 1990.

BOUCHUT Y., COCHET F., JACOT J. H. : *Robotique industrielle et choix d'investissement*, PUL, Lyon, 1984.

BOUCHUT Y., JACOT J. H. et LATCHINIAN S. (dir.) : *Nouvelles technologies et enjeux sociaux*, PUL, Lyon, 1986.

BOUNINE J. et SUZAKI K. : "Produire juste à temps", Masson, Paris, 1989.

BREMOND J. et GELEDAN A. : *Dictionnaire des théories et mécanismes économiques*, Hatier, Paris, 1984.

BRODIER P. L. : *La Valeur Ajoutée Directe*, Afnor Gestion, Paris, 1988.

BRODIER P.L. : *La productivité n'est pas ce que vous croyez*, Harvard-L'expansion, Automne 1992.

BRODIER P. L. : "Management par les coûts ou management par la valeur ajoutée ?", in *Mieux gérer la production - les outils économiques d'aujourd'hui*, Publication Cetim, 1993.

BURLAUD A. : "Coût, contrôle et complexité dans les organisations", in *Gestion Industrielle et Mesure Economique - Ecosip*, Economica, Paris, 1990.

BURLAUD A. et SIMON C. : *Analyse des coûts et contrôle de gestion*, Vuibert, Paris, 1981.

BURNS T. et STALKER G. : *The management of innovation*, Tavistock Press, Londres, 1966.

CAPET M., CAUSSE G., MEUNIER J. : *Diagnostic, organisation, planification d'entreprise*, Economica, Paris, 1986.

CARRE J., DUBOIS P., MALINVAUD E. : *La croissance française, un essai d'analyse économique causale de l'après guerre*, Seuil, Paris, 1972.

CARRE J., DUBOIS P., MALINVAUD E. : *Abrégé de la croissance française*, Seuil, Paris, 1973.

CASTAGNE M. et OKONGWU U. : "Analyse de la flexibilité de la chaîne logistique de l'entreprise", in *Actes du congrès international de génie industriel de Tours*, 1991.

CHILD J. : *Organization : a guide to problems and practice*, Harper & Row, London, 1977.

COHENDET P. et LLERENA P. : *Flexibilité, information et décision*, Economica, Paris, 1989.

COHENDET P. et LLERENA P. : "Flexibilité et évaluation des systèmes de production", in *Gestion Industrielle et Mesure Economique - Ecosip*, Economica, Paris, 1990.

COHENDET P., JACOT J. H., LORINO P. : *Cohérence, pertinence et évaluation*, ECOSIP, Economica, à paraître, Paris, 1995.

Commissariat Général du Plan : *L'usine du futur - L'entreprise communicante et intégrée*, Rapport du groupe de prospective présidé par B. IRION, La documentation française, juin 1990.

Commissariat Général du Plan : *La performance globale : outils et évaluation*, Rapport du groupe de prospective présidé par J. BARRAUX, La documentation française, octobre 1994.

CROZIER M. et FRIEDBERG E. : *L'acteur et le système*, Seuil, Paris, 1977.

CYERT R. et MARCH J. : *Processus de décision dans l'entreprise*, Dunod, Paris, 1970.

DOUMEINGTS G. : *La méthode GRAI*, Cours polycopié.

DOUMEINGTS G. et VALLESPER B. : "Techniques de modélisation pour la productique", in Séminaire international sur les systèmes de production, Tome 1, Nancy, 1991.

DREYFUS H. : *Intelligence artificielle - mythes et limites*, Flammarion, Paris, 1984.

DUBOIS D. : "Limites à la modélisation des systèmes", in *Modélisation et maîtrise des systèmes techniques économiques sociaux*, Actes du congrès de l'AFCET, Tome 1, 1977.

Encyclopédie économique, Economica, Paris, 1984, traduction de *Encyclopedia of Economics*, Douglas Greenwald ed., New York, 1982.

FAVEREAU O. : "Vers un calcul économique organisationnel", in *Revue d'économie politique*, mars-avril 1989.

FAVEREAU O. : "Objets de gestion et objet de la théorie économique" in *Revue française de gestion*, novembre-décembre 1993.

FAYOL H. : *Administration industrielle et générale*, Dunod, Paris, 1918.

FERBER J. : "La Kénétique : des systèmes multi-agents à une science de l'interaction" in *Revue internationale de systémique*, août 1994.

FOULARD C. (Coord.) : *La modélisation en entreprise : CIM-OSA et ingénierie simultanée*, HERMES, Paris, 1994.

FREYSSINET M. : "Du toyotisme réel à un nouveau toyotisme", in *Un nouveau Toyotisme ?*, Actes du GERPISA n° 8, 1994.

FRISCH R. : *Lois techniques et économiques de la production*, Dunod, Paris, 1963.

GABRIÉ H. et JACQUIER J. L. : *La théorie moderne de l'entreprise*, Economica, Paris, 1994.

GALBRAITH J. K. : *Le nouvel état industriel*, Paris, Gallimard, 1967.

GALLOIS P. M. : "Evaluation et pilotage de la performance industrielle", in *Gestion Industrielle et Mesure Economique - Ecosip*, Economica, Paris, 1990.

GALLOIS P. M. : "Le management de l'évolution : vers un management industriel synchronisé et intégré", in *Revue française de gestion industrielle*, N° 1, 1991.

GANASCIA J. G. : "L'hypothèse du "Knowledge level" : théorie et pratique", in *Rapport du laboratoire formes et intelligence artificielle*, Université PARIS VI, CNRS, Octobre 1991.

GENELOT D. : *Manager dans la complexité*, INSEP Editions, Paris, 1992.

GIARD V. : *Gestion de la production*, Economica, Paris, 1988.

GIARD V. : "Une comptabilité de gestion en crise", in *Gestion Industrielle et Mesure Economique - Ecosip*, Economica, Paris, 1990.

GIBERT M. : *L'intégration des systèmes de production*, PUL, Lyon, 1989.

van GIGCH J. P. : *Applied General System Theory*, Harper & Row publishers, New York, 1974.

van GIGCH J. P. : *Decision making about decision making : Metamodels & meta systems*, Abacus Press, Cambridge, Mass., 1987.

van GIGCH J. P. : *System design modeling and metamodeling*, Plenum Press, New York, 1991.

GILBRETH F. et L. : *Applied Motion Study*, New York, 1917.

GOLDRATT E. : *The OPT concept*, Creative Output, Milford, 1983.

GOLDRATT E. et COX J. : *Le but*, Afnor Gestion, Paris, 1986.

GORRY G. et SCOTT MORTON M. : *A framework for management information systems*, Sloan management review, Cambridge, Mass., 1971.

GREMY J. P. : article "Simulations" de l'*Encyclopedia Universalis*, 1980, p. 1043.

GULICK L. et URWICK L. : *Papers on the Science of Administration*, 1937.

HAMMER M. et CHAMPY J. : *Le reengineering*, Dunod, Paris, 1993.

HATCHUEL A. et MOLET H. : *GPAO et innovations organisationnelles*, in *Annales des Mines*, avril 1988.

HERAN F. : "Outils de gestion et modes d'organisation", in *Gestion Industrielle et Mesure Economique - Ecosip*, Economica, Paris, 1990.

HOC J. M. : *Psychologie cognitive de la planification*, PUG, Grenoble, 1987.

HOLLARD M. : "Outils de gestion et environnement macro-économique", in *Gestion Industrielle et Mesure Economique - Ecosip*, Economica, Paris, 1990.

HOLLARD M. (dir.) : *Génie industriel : les enjeux économiques*, PUG, Grenoble, 1994.

IMAI M. : *Kaizen - La clé de la compétitivité japonaise*, Eyrolles, Paris, 1992.

JACOT J. H. : "A propos de l'évaluation économique des systèmes intégrés de production", in *Gestion Industrielle et Mesure Economique - Ecosip*, Economica, Paris, 1990.

JACOT J. H. : *Vers une nouvelle évaluation économique des systèmes de production*, Texte pour le colloque de l'ACFAS de mai 1991, Sherbrooke, Québec, Canada.

JACOT J. H. (dir.) : *Formes anciennes, formes nouvelles d'organisation*, PUL, Lyon, 1994.

JACOT J. H. et LAJOINIE G. (dir.) : *Modes d'organisation et technologie*, PUL, Lyon, 1988.

JACOT J. H., MICAELLI J. P. et *alii* : *Projet MIPS - Maîtriser les Investissements Productiques Stratégiques - Rapport Final*, mars 1994.

KALIKA M. : *Structures d'entreprises - Réalités, déterminants, performances*, Economica, Paris, 1988.

KEYNES J. M. : *La théorie générale*, Petite Bibliothèque Payot, Paris, 1971.

KOENIG G. : *Les théories de la firme*, Economica, Paris, 1993.

KORNAI J. : *Antiequilibrium; on economic systems theory and the tasks of research*, North Holland, 1971.

LABIDI S. et LEJOUAD W. : "De l'intelligence artificielle distribuée aux systèmes multi-agents" in *Rapport de recherche n° 2004*, INRIA, août 1993.

LAMBERT G. : "Décision d'investissement et processus adaptatifs : Vers un élargissement de la rationalité de la firme", in *Gestion Industrielle et Mesure Economique - Ecosip*, Economica, Paris, 1990.

LANDRY M. et MALOUIN J. L. : "Réflexions sur le problème de la validation des modèles", in *Modélisation et maîtrise des systèmes techniques économiques sociaux*, Actes du congrès de l'AFCT, Tome 1, 1977.

LAVERTY J. et DEMEESTERE R. : *Les nouvelles règles du contrôle de gestion industrielle*, Dunod, Paris, 1990.

LAWRENCE R. et LORSCH J. : *Adapter les structures de l'entreprise : Intégration ou différenciation*, Editions d'organisations, Paris, 1973.

LE BAS C. : "la firme et la nature de l'apprentissage", in *Economies et sociétés - La firme et la dynamique de l'apprentissage*, n° 5, mai 1993.

LE BAS C. et ZUSCOVITCH E. : "Apprentissage technologique et organisation", in *Economies et sociétés - La firme et la dynamique de l'apprentissage*, n° 5, mai 1993.

LEBEL J. : "La dynamique des systèmes, analyse et synthèse", in *Modélisation et maîtrise des systèmes techniques économiques sociaux*, Actes du congrès de l'AFCET, Tome 1, 1977.

LEMOIGNE J. L. : *Les systèmes de décision dans les organisations*, PUF, Paris, 1974.

LEMOIGNE J. L. : *La théorie du système général (théorie de la modélisation)*, PUF, Paris, deuxième édition, 1984.

LEMOIGNE J. L. : *La modélisation des systèmes complexes*, Dunod, Paris, 1990.

LHOTE F., VALLET, G., DULMET M. : "De la communication à la synergie : le paradigme de l'intégration et ses exigences en terme de sémantique des interactions au sein de l'entreprise" in *23ème CIRP - Séminaire international sur les systèmes de production*, Nancy, 6-7 juin 1991.

LIPSEY R. et STEINER P. : *Analyse économique (economics)*, traduction française de l'édition de 1975, Paris, 1985.

LORINO P. : *L'économiste et le manager*, Editions La Découverte, Paris, 1991.

LORINO P. : *Le contrôle de gestion stratégique*, Dunod, Paris, 1991.

LORINO P. : "Le projet Cost Management System du CAM-I et ses fondements" in *Gestion Industrielle et Mesure Economique - Ecosip*, Economica, Paris, 1990.

LORINO P. : *Comptes et Récits de la Performance : Essai sur le pilotage de l'entreprise*, Editions d'organisation, Paris, 1995.

LUSSATO B. : *Modèles cybernétique, hommes, entreprises*, Tome 1, Dunod, Paris, 1972.

LUSSATO B. : *Introduction critique aux théories d'organisation*, Dunod, Paris, 1977.

MANSFIELD E. : *Economics of technical change*, Norton and C°, .

MARCH J. et SIMON H. : *Les Organisations*, Dunod, Paris, 1974.

MELESE J. : *La gestion par les systèmes*, Editions Hommes et Techniques, Paris, 1968.

MELESE J. : *L'analyse modulaire des systèmes*, Les Editions d'organisation, Paris, 1991.

MESTOUDJIAN J. et de CRESCENZO J. : *La gestion de production assistée par ordinateur*, Editions de l'usine nouvelle, Paris, 1986.

MEVELLEC P. : "Modèles d'entreprises et systèmes de calcul de coûts", in *Cohérence, pertinence et évaluation*, ECOSIP, Economica, à paraître, Paris, 1995.

MEYER J. : *Le contrôle de gestion*, PUF, Paris, 1989.

MINTZBERG H. : *Structure et dynamique des organisations*, Editions d'organisation, Paris, 1982.

MOATI P. et MOUHOUD E. : *Information et organisation de la production : vers une division cognitive du travail*, Cahier de recherche du CREDOC, avril 1993.

MOLET H. : "Un faux dilemme : faut-il utiliser MRP ou KANBAN" in *Axes Robotique*, novembre-décembre 1987.

MORIN E. : "Le système, paradigme et / ou théorie", in *Modélisation et maîtrise des systèmes techniques économiques sociaux*, Actes du congrès de l'AFCET, Tome 1, 1977.

ORLICKY J. : *Material Requirement Planning : the new way of life in production and inventory management*, Mc Graw-Hill, New York, 1975.

PAULRÉ B. : "Entreprise-système" in *Modélisation et maîtrise des systèmes techniques économiques sociaux*, Actes du congrès de l'AFCET, Tome 1, 1977.

PAULRÉ B. : "Apprentissage et systémique - L'analyse du changement technique : entre préformisme et constructivisme", in *Economies et sociétés - La firme et la dynamique de l'apprentissage*, n° 5, mai 1993.

PEYREGA J. : "Vers une analyse cybernétique des systèmes socio-économiques", *Issues*, Première partie, 1er/2e trimestre 1985, n° 21.

PIAGET J. : *Le structuralisme*, PUF, Paris, 1968.

PICON A. et VELTZ P. : "L'informatique et les nouveaux modèles d'organisation dans l'industrie", in *Annales des Ponts et Chaussées*, N° 69, 1994.

PIERREVAL H. : *Les méthodes d'analyse et de conception des systèmes de production*, Hermès, Paris, 1990.

PORTER M. : *L'avantage concurrentiel*, InterEditions, Paris, 1986.

PROTH J. M. : *Conception et gestion des systèmes de production*, PUF, Paris, 1992.

ROBOAM M. : *La méthode GRAI*, TEKNEA, Toulouse, 1993.

ROJOT J. et BERGMANN A. : *Comportement et organisation*, Vuibert, Paris, 1989.

ROLLAND C. : "Introduction à la conception des systèmes d'information et panorama des méthodes disponibles", in *GENIE LOGICIEL*, n° 4, 1986.

de ROSNAY J. : *Le microscope*, Le Seuil, Paris, 1975.

SALAI R. et STORPER M. : *Les mondes de production - Enquête sur l'identité économique de la France*, Editions de l'école des hautes études en sciences sociales, Paris, 1993.

SCHONBERGER R. : *World class manufacturing*, The Free Press, New York, 1986.

SICARD J. P. : "Evolution des qualifications et besoins de formation : perspectives pour l'an 2000", in *revue du Centre national de documentation pédagogique*, novembre 1990.

SHIMIZU K. : "Kaizen et gestion du travail chez Toyota Motor Kyushu - un problème dans la trajectoire de Toyota", in *GERPISA - Deuxième Rencontre internationale - Les nouveaux modèles industriels des firmes automobiles*, Paris, juin 1994.

SHINGO S. : *Le système SMED : une révolution en gestion de production*, Editions d'organisation, Paris, 1987.

SHINGO S. : *La production sans stock*, Editions d'organisation, Paris, 1990.

SIMON H. : *The new science of management decision*, Harper & Row, New York, 1960.

SIMON H. : *La science des systèmes, science de l'artificiel*, Epi Editeurs, Paris, 1974.

SUZAKI K. : *Le nouveau défi industriel : les hommes et les techniques*, Interéditions, Paris, 1991.

TAYLOR F. : *Organisation du travail et économie des entreprises*, Editions d'organisation, Paris, 1990.

VALLEE R. : "Origine et évolution de la systémique" in *Systémique, Théorie & applications*, Technique & documentation - Lavoisier, 1992.

VARELA F. : *Autonomie et connaissance - Essai sur le Vivant*, Seuil, Paris, 1989.

VARELA F. : *Connaître les sciences cognitives, tendances et perspectives*, Paris, Seuil, 1989.

VATÉ M. : *Leçons d'économie politique*, Economica, Paris, 1978.

WALDNER J. B. : *CIM, les nouvelles perspectives de la production*, Dunod, 1990.

WALRAS L. : *Eléments d'économie politique pure*. 1874.

WIENER N. : *Cybernétique, ou régulation et communication chez l'animal et dans la machine*, Hermann, Paris, 1948.

WOODWARD J. : *Industrial organization : Theorie and Practice*, Oxford University Press, London, 1965.

ZARIFIAN P. : "Gestion par activités, gestion par processus, gestion par projets : quelles différences ? Quels rapports ?", article interne du Laboratoire Techniques, Territoires et Sociétés, février 1994.

ZARIFIAN P. : "L'émergence de l'organisation par processus : à la recherche d'une difficile cohérence" in *Cohérence, pertinence et évaluation*, ECOSIP, Economica, à paraître, Paris, 1995.

LISTE DES SCHEMAS

Schéma 1 : Exemple de graphe en dynamique des systèmes	30
Schéma 2 : Contrôle direct	47
Schéma 3 : Contrôle en boucle fermée.....	48
Schéma 4 : Régulation ultra-stable	50
Schéma 5 : Représentation cybernétique de l'entreprise en trois sous-systèmes.....	61
Schéma 6 : Modèle GRAI	62
Schéma 7 : Sous-système d'information réparti	63
Schéma 9 : Principe de la démarche asservie du contrôle de gestion.....	111
Schéma 10 : Procédure classique de contrôle de gestion.....	112
Schéma 11 : Structure des décisions par niveaux selon R. Anthony.....	113
Schéma 12 : Modèle de gestion associé au concept MRP	115
Schéma 13 : Structure organisationnelle d'entreprise de R. Anthony et J. Dearden	118
Schéma 14 : Positions respectives d'approches micro-économiques théoriques	167
Schéma 15 : Processus dynamique d'évaluation	177
Schéma 16 : Innovation classique	178
Schéma 17 : Innovation et approche Kaizen	179

Schéma 18 : Construction des coûts dans un modèle de gestion par activités.....	221
Schéma 19 : Représentation d'un processus opérationnel.....	225
Schéma 20 : Construction des coûts dans un modèle de gestion par processus.....	227
Schéma 21 : Représentation d'un processus stratégique.....	228
Schéma 22 : Le modèle GRAI	240
Schéma 23 : Exemple de décomposition d'un système de production selon la grille GRAI.....	242
Schéma 24 : Le cadre de modélisation CIMOSA.....	245
Schéma 25 : Module technologique d'usinage représenté selon le langage AMS	250
Schéma 26 : Association d'un module de pilotage et d'un module technologique d'usinage.....	252
Schéma 27 : Module de représentation générique du langage AMS.....	253
Schéma 28 : Représentation d'une unité de production selon le langage AMS	256
Schéma 29 : Modèle général de système de contrôle	262
Schéma 30 : Concepts de contrôle et d'orientation	262
Schéma 31 : Pilotage d'activités par interprétation d'informations.....	263
Schéma 32 : Systèmes de contrôle emboîtés en méta-niveaux.....	265
Schéma 33 : Méta-contrôleur pilotant un système contrôleur-système contrôlé.....	266
Schéma 34 : Modèle développé de contrôle par méta-rationalités.....	268
Schéma 35 : Modèle d'organisation multi-niveaux contrôlé par des méta-rationalités.....	269

Schéma 36 : Application du modèle d'organisation multi-niveaux au cas d'une entreprise manufacturière	270
Schéma 37 : Module élémentaire du modèle de représentation.....	278
Schéma 38 : Modèle développé d'un centre d'activités	279
Schéma 39 : Modèle développé d'un agent cognitif.....	279
Schéma 40 : Représentation d'une chaîne d'activités.....	284
Schéma 41 : Représentation d'un processus opérationnel	286
Schéma 42 : Modèle développé d'un processus opérationnel.....	286
Schéma 43 : Représentation d'un processus stratégique	289
Schéma 44 : Modèle développé d'un processus stratégique.....	290
Schéma 45 : Présentation du flux de fabrication et du système de gestion de l'entreprise S.....	296
Schéma 46 : Représentation du flux de fabrication modifié par le projet productique.....	299
Schéma 47 : Modélisation de la chaîne d'activités de traitement d'informations	301
Schéma 48 : Modélisation du processus administratif de traitement d'informations	302
Schéma 49 : Modélisation de la chaîne d'activités de transformation physique.....	303
Schéma 50 : Modélisation du processus opérationnel de transformation physique.....	304
Schéma 51 : Modélisation du projet productique	306
Schéma 52 : Modélisation de la chaîne de traitement d'informations modifiée par le projet productique.....	307
Schéma 53 : Modélisation de la chaîne de transformation physique modifiée par le projet productique.....	308

Schéma 54 : Démarche de traduction d'une réalité perçue en maquette de simulation.....	313
Schéma 55 : Modélisation du processus stratégique expérimental.....	315
Schéma 56 : Modélisation du processus de traitement d'informations expérimental.....	316
Schéma 57 : Modélisation de la chaîne d'activités de traitement d'informations expérimentale.....	317
Schéma 58 : Modélisation du processus opérationnel de transformation physique expérimental.....	318
Schéma 59 : Modélisation de la chaîne d'activités de transformation physique expérimentale.....	319
Schéma 60 : Détail d'un tableau kanban entre deux centres d'activités simulés	334

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Classification des décisions.....	58
Tableau 2 : Exemple de flux de trésorerie pour deux projets d'investissement.....	103
Tableau 3 : Sensibilité de la valeur actualisée nette à l'horizon de calcul.....	103
Tableau 4 : Sensibilité de la valeur actualisée nette au taux d'actualisation.....	103
Schéma 8 : Formation des coûts dans le modèle taylorien-fordien.....	109
Tableau 5 : L'évolution des sciences cognitives.....	195
Tableau 6 : Classification des décisions entre traitement d'informations et processus cognitif.....	199
Tableau 7 : De l'entreprise-facteurs à l'entreprise-compétences	230

LISTE DES GRAPHIQUES

Graphique 1 : Représentation graphique d'un isoquant - cas de deux facteurs génériques substituables	73
Graphique 2 : Modélisation des décisions de longue période par changement d'isoquant	76
Graphique 3 : Coûts de courte période des facteurs selon les quantités produites dans la théorie néoclassique	81
Graphique 4 : Coûts de longue période dans la théorie néoclassique	82
Graphique 5 : Détermination de la décision de production optimale en théorie néoclassique, et bénéfice obtenu	84
Graphique 6 : Représentation du seuil de rentabilité.....	93
Graphique 7 : Détermination de la décision de production optimale en fonction du chiffre d'affaires et des charges totales.....	94
Graphique 8 : Décision d'investissement à partir des coûts marginaux et des prix de vente unitaires	102
Graphique 9 : Antagonisme entre délai de récupération et valeur actualisée nette.....	104
Graphique 10 : Représentation néoclassique de la productivité statique	132
Graphique 11 : Niveau de flexibilité des équipements de production	138
Graphique 12 : Performances physique, marchande et financière en situation d'allonomie.....	324

Graphique 13 : Performances physique, marchande et financière en situation d'allonomie simple, et selon un objectif de rendement.....	325
Graphique 14 : Rendement physique moyen en fonction de la taille des lots.....	327
Graphique 15 : Retards de livraison moyens en fonction de la taille des lots.....	328
Graphique 16 : Représentation des zones de satisfaction des agents cognitifs en fonction de la taille des lots.....	329
Graphique 17 : Sentier d'évolution vers une taille de lot satisfaisante par processus de communication entre agents cognitifs.....	330
Graphique 18 : Performance physique, marchande et financière, en environnement stable et instable, en situation d'allonomie.....	331
Graphique 19 : Performance physique, marchande et financière, en environnement instable, en situation d'allonomie et en situation d'autonomie partielle.....	333
Graphique 20 : Performance physique, marchande et financière, en environnement instable, en situation d'autonomie partielle et en système kanban.....	335
Graphique 21 : Rendements au niveau physique des trois centres d'activités en situation d'allonomie.....	359
Graphique 22 : Production vendue et retard moyen en situation d'allonomie.....	360

INDEX DES PRINCIPAUX CONCEPTS

A

accointance, **273**
acteur, **273**
activité, **21; 219**
adaptation, **20; 31; 44; 49; 130**
agent, **274**
allonomie, **186; 196; 208; 315**
AMS, **249**
apprentissage, **78; 169; 200**
artefact, **33; 62; 342**
atelier flexible, **139**
autonomie, **119; 186; 193; 237; 308**
autopoïèse, **214**
autorité, **54; 169**

B

bruit, **29; 145; 196; 212**

C

CAM-I, **220**
carte organisationnelle, **321; 330; 333**
cellule flexible, **139**
chaîne d'activités, **284**
chaîne de valeurs, **219**
CIM, **140; 244**
CIMOSA, **244**
CMS, **220**
compétitivité, **188**
compétitivité hors prix, **189**
complexité, **24; 34; 38; 180; 186**
comptabilité, **86; 106**
compte de surplus, **96**

connaissances, **76; 153; 199**
connexionnisme, **194; 234**
coûts directs et indirects, **91**
coûts variables et fixes, **91**
cybernétique, **27; 28; 35; 46; 59; 164; 251**

D

décisions (classification), **198**
délai de récupération, **100**
différenciation / intégration, **52; 196**

E

économie d'échelle, **123**
économie de variété, **123**
effectivité, **189; 202; 323**
efficacité, **45; 71; 127; 188**
efficacité économique, **78**
efficience, **189; 202; 323**
émergence, **33; 194; 272**
énaction, **195; 234**
entropie, **29**

F

facteur organisation, **127; 205**
facteurs de production, **71**
flexibilité, **129; 137**
flexibilité statique / dynamique, **131**
fonction de production, **71; 160**

G

GRAI, **61; 239**

H

hiérarchie, **44; 53; 185; 210**
homéostasie, **24; 31; 129; 214**

I

indicateur de performance, 179; **180**
information (statut), 28; 57; 59; **61**; **192**
innovation, 76; 97; **176**; 202
intégration, 52; **133**; 137
intelligence artificielle distribuée, **271**
investissement, 72; 87; **96**; **160**
irréversibilité des décisions, 72; 97; 101

J

juste-à-temps, **144**; 158; 187; 206; 298

K

Kaizen, **178**; 235
kanban, **145**; 206; 213; 234; 357

M

méta-système, **216**; 264
micro-économie néoclassique, 20; 26; **69**;
123; 132; 164; 188
MIPS, **247**

MRP, 114; 192; 350

O

opérationnel / stratégique, 43; 55; 114
OPT, 87; 360
optimisation, **37**; 46; 153
optimum, 21; 46; 57; 79; 110

P

performance, 45; 90; 106; 126; **178**
pilotage, 34; 50; 59; 110
planification, 37; 89; 115; **116**; 192
polyvalence, 152
processus opérationnel, **225**; **285**
processus stratégique, **228**; **288**
productique, 163; **246**
productivité, 95; 139
productivité du capital, 96
productivité du travail, 96; 97; 110
productivité globale, **95**; 96
productivité marginale, 80
productivité physique, 79

profit, 55; **70**; 83; 86

profitabilité, 188

Q

qualité, 124; 143; **149**

R

rationalité évaluative, **267**
rationalité procédurale, 57; **267**
rationalité structurelle, **267**
rationalité substantive, 57; **267**
recherche opérationnelle, 235; 249
régulation, 46
rendement, 83; 99; 139; **188**
rendement local / optimum global, 21; 24
rendements décroissants, 80; 94
rentabilité, 90; 99; 106; 158; 204
robot industriel, 139

S

sous-traitance, 58; 114; 297
système d'information, **59**
système de décision, **59**
système physique, **59**

T

taux d'actualisation, 100
taux de rentabilité interne, 100
taylorien, 147
taylorisme, 106; 113; 131
travail direct, 95; 110; 155

U

ultra-stabilité, **49**; 111; 197; 258
unité d'oeuvre, 221

V

valeur actualisée nette, 100
valeur ajoutée, 87; 189; 345
validité d'un modèle, **234**
variété, 34; 46

X

XAO, 143

TABLE DES MATIERES

SOMMAIRE	5
INTRODUCTION GENERALE	7
CHAPITRE 1 : ORGANISATIONS PRODUCTIVES ET APPROCHE SYSTEMIQUE	15
SECTION I : ORGANISATIONS PRODUCTIVES	17
1. Définitions et approches traditionnelles	17
1.1 Définitions	17
1.2 Approches traditionnelles	20
2. Complexité et nature systémique.....	23
2.1 Complexité des organisations productives	23
2.2 Nature systémique des organisations productives	25
SECTION II : ECONOMIE ET SYSTEMIQUE	28
1. Historique et concepts	28
1.1 Origines de l'approche système	28
1.2 Concepts principaux.....	32
2. Epistémologie et paradigmes	35
2.1 La systémique, science de conception et d'action.....	35
2.2 Démarche et paradigmes de représentation	39

SECTION III : REGULATION ET CONTROLE	42
1. Structure et régulation	42
1.1 Identification des structures	42
1.2 Régulation	46
2. Représentations.....	53
2.1 Hiérarchie et décision dans les organisations	53
2.2 Modèles classiques de représentation	58
 CHAPITRE 2 : CALCUL ECONOMIQUE ET MODELES DE GESTION	 67
 SECTION 1 : L'APPROCHE ECONOMIQUE NEOCLASSIQUE	 69
1. Théorie micro-économique.....	69
1.1 Objectif de l'entreprise et facteurs de production	70
1.2 Coûts des facteurs et analyse marginale.....	79
2. Premières remarques sur la théorie néoclassique.....	84
2.1 Information imparfaite et coût marginal.....	85
2.2 Les alternatives au maximum de profit	86
 SECTION 2 : CALCUL DE FONCTIONNEMENT ET D'ARCHITECTURE.....	 89
1. Coûts et productivité.....	90
1.1 Le calcul des coûts.....	90
1.2 La recherche de productivité.....	95
2. L'investissement	96
2.1 Définitions	96
2.2 Calcul économique d'investissement.....	98
2.3 Premières remarques sur le calcul économique d'investissement.....	103
 SECTION 3 : PRINCIPES ET STRUCTURES DE GESTION.....	 106
1. Principes du contrôle de gestion traditionnel.....	106
1.1 Les concepts de gestion du Taylorisme et du Fordisme	106
1.2 L'utilisation d'outils normatifs.....	109
2. Structures classiques de contrôle.....	113

2.1 Modèle de gestion de production.....	113
2.2 Modèle de contrôle de gestion.....	116
CHAPITRE 3 : LE NOUVEAU CONTEXTE INDUSTRIEL.....	121
SECTION 1 : LES NOUVEAUX RAPPORTS A L'ENVIRONNEMENT	123
1. Changements, instabilités et besoins d'organisation.....	123
1.1 Incertitudes accrues et économie de variété	123
1.2 L'organisation comme réponse aux modifications d'environnement	125
2. Les nécessités de la flexibilité et de l'intégration	128
2.1 Flexibilité	129
2.2 Intégration	133
SECTION 2 : EXPRESSIONS DU MOUVEMENT VERS LA FLEXIBILITE ET L'INTEGRATION.....	137
1. La dimension technologique de l'intégration et de la flexibilité	137
1.1 Automatisation flexible et informatisation.....	137
1.2 Les insuffisances de la technologie.....	141
2. Dimensions organisationnelle et socio-humaine.....	143
2.1 La flexibilité et l'intégration par l'organisation	143
2.2 La dimension socio-humaine.....	151
SECTION 3 : LA SITUATION DU CALCUL ECONOMIQUE	155
1. Des outils traditionnels de gestion inadaptés	155
1.1 Le calcul de fonctionnement	155
1.2 Le calcul d'investissement.....	160
2. Des représentations économiques en mutation	163
2.1 Les limites des représentations économiques néoclassiques	164
2.2 Les alternatives à la représentation néoclassique standard	166

CHAPITRE 4 : DE L'ENTREPRISE-FACTEURS A L'ENTREPRISE-COMPETENCES.....173

SECTION 1 : DE L'OUTIL DE MESURE A LA REPRESENTATION COLLECTIVE.....175

- 1. Dynamisme organisationnel et actions collectives175
 - 1.1 L'évaluation économique comme processus dynamique176
 - 1.2 La dimension collective de l'action organisatrice.....180
- 2. Vers des représentations collectives de la performance183
 - 2.1 La multiplicité des représentations comme base de l'action183
 - 2.2 Une approche multi-niveaux de la performance collective188

SECTION 2 : DU TRAITEMENT DE L'INFORMATION AUX PROCESSUS COGNITIFS.....191

- 1. De l'instruction donnée à l'apprentissage construit191
 - 1.1 De la manipulation de symboles à l'action productive192
 - 1.2 Connaissances et apprentissage197
- 2. Déterminants cognitifs de la performance202
 - 2.1 De l'apprentissage technique individuel à l'apprentissage organisationnel collectif203
 - 2.2 Entre efficacité statique de production et efficacité dynamique d'innovation.....206

SECTION 3 : D'UNE HIERARCHIE DIRECTIVE A UNE ORGANISATION EN NIVEAUX D'INTEGRATION210

- 1. Une nouvelle approche de la hiérarchie décisionnelle210
 - 1.1 L'organisation en niveaux hiérarchiques d'intégration.....210
 - 1.2 De l'autopoièse à la méta-systémique214
- 2. Les activités et les processus, bases de l'organisation en niveaux d'intégration219
 - 2.1 La gestion par activités219

2.2 La gestion par processus opérationnels et par processus stratégiques.....	224
CHAPITRE 5 : UNE MODELISATION META-SYSTEMIQUE ET MULTI-AGENTS DES ORGANISATIONS PRODUCTIVES	231
SECTION 1 : LA MODELISATION EN PRODUCTIQUE	232
1. La modélisation	232
1.1 Rôle et validité des modèles	233
1.2 Propriétés requises	236
2. Principaux formalismes de représentation des systèmes de production	239
2.1 Le modèle GRAI	239
2.2 Le modèle CIMOSA	244
2.3 Le projet de recherche MIPS	247
3. L'analyse modulaire des systèmes.....	249
3.1 Description du formalisme de l'analyse modulaire des systèmes	250
3.2 Remarques sur l'analyse modulaire des systèmes.....	254
SECTION 2 : LES BASES D'UNE NOUVELLE MODELISATION.....	261
1. Formalisation d'une représentation méta-systémique	261
1.1 Vers des structures de décision par méta-niveaux	261
1.2 Organisation par niveaux et méta-rationalités.....	266
2. Les apports de l'approche multi-agents	271
2.1 L'intelligence artificielle distribuée	271
2.2 Les systèmes multi-agents	273
SECTION 3 : MODELE DE REPRESENTATION DES ORGANISATIONS PRODUCTIVES	277
1. La structure de base du modèle.....	277
1.1 Définition des modules élémentaires	277
1.2 Les chaînes de modules	283
2. L'intégration méta-systémique.....	285

2.1 Les processus opérationnels.....	285
2.2 Les processus stratégiques ou projets.....	288
CHAPITRE 6 : VALIDATION INDUSTRIELLE ET EXPERIMENTATION	293
SECTION 1 : VALIDATION INDUSTRIELLE DU MODELE	294
1. Présentation de l'entreprise S.....	294
1.1 L'entreprise S. et son environnement.....	294
1.2 Evolutions actuelles	297
2. Cartographie des processus.....	300
2.1 Représentation des processus de traitement d'informations et de transformation physique.....	300
2.2 Représentation du projet productique.....	305
SECTION 2 : DE LA MODELISATION A LA SIMULATION	310
1. Le contexte d'une expérimentation	310
1.1 Les apports de la simulation.....	310
1.2 Modèle de simulation et techniques employées.....	312
2. Description du modèle de simulation.....	314
2.1 Processus stratégique.....	314
2.2 Processus opérationnel de traitement administratif.....	316
2.3 Processus opérationnel de transformation physique.....	317
SECTION 3 : DYNAMIQUES D'APPRENTISSAGE ORGANISATIONNEL.....	321
1. Etablissement de cartes organisationnelles autour de situations d'autonomie et de logiques de rendement	321
1.1 Système d'indicateurs multi-critères et performance économique dans le modèle de simulation.....	322
1.2 Communication entre agents cognitifs et apprentissage autour du flux physique.....	326
2. Vers des situations d'autonomie et de flux tiré	331

2.1 Autonomie des acteurs et performance de l'organisation.....	331
2.2 Carte organisationnelle du système en flux tiré.....	333
CONCLUSION GENERALE.....	339
ANNEXE 1 : DETAIL DES AGENTS COGNITIFS ET DES CENTRES D'ACTIVITES DU MODELE DE SIMULATION.....	345
ANNEXE 2 : CONTEXTE DE SIMULATION.....	359
BIBLIOGRAPHIE.....	363
LISTE DES SCHEMAS	375
LISTE DES TABLEAUX.....	379
LISTE DES GRAPHIQUES.....	381
INDEX DES PRINCIPAUX CONCEPTS	383
TABLE DES MATIERES	385

Résumé : Dans un cadre de travail situé au carrefour des sciences économiques, des sciences de gestion et des sciences de l'ingénieur, cette thèse a pour objectif de contribuer à la construction de nouveaux modèles pour l'évaluation économique des organisations productives.

La vision systémique habituelle de l'entreprise est en premier lieu traitée à travers l'approche économique néoclassique, le contrôle de gestion traditionnel, et le courant cybernétique. Mais nous montrons ensuite pourquoi le dosage des différents facteurs de production, l'analyse normative des coûts, et le contrôle-commande qui prévalaient pour la description et l'évaluation d'une entreprise-facteurs, ne sont plus adaptés pour caractériser l'entreprise-compétences qui émerge du nouveau contexte industriel.

Nous nous plaçons alors dans le cadre d'une théorie économique non standard caractérisée par une dimension organisationnelle forte en contexte de rationalité procédurale, dans le cadre d'une gestion par activités et par processus, et dans le cadre d'une approche plus cognitive du pilotage. Cette transition nous permet de développer des représentations de l'entreprise-compétences qui relient les performances aux connaissances, aux processus d'apprentissage, aux procédures de prises de décisions et aux chaînes de rationalités individuelles et collectives associées à une interprétation méta-système de la hiérarchie. Ces modes de représentation sont ensuite formalisés par un langage de modélisation et illustrés par des expérimentations de simulation.

Mots clefs : apprentissage, autonomie, cognition, compétences, évaluation économique, méta-système, modélisation, organisation, production, simulation.